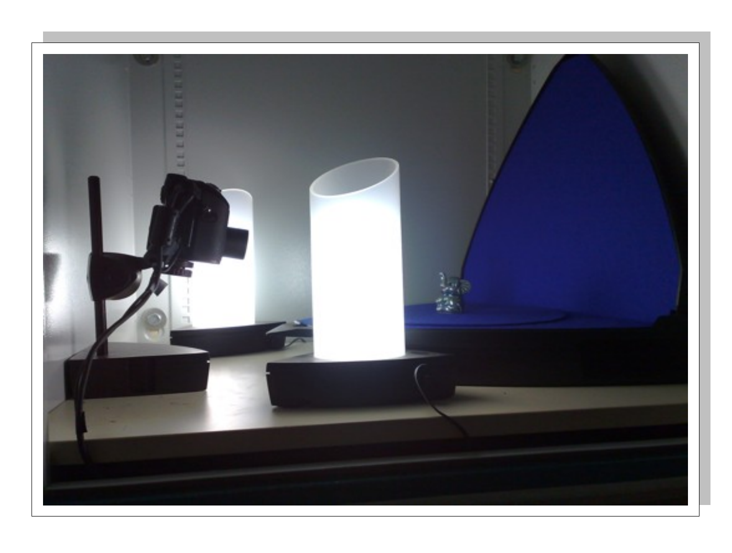
M.SC.
WS2008/2009



Computer Graphics

Ausarbeitung zum Thema

3D Scanner





Autoren

Teil 1: Sippel, Tobias **Optischer Scanner**

Teil 2: Lorei, Christian **Laserscanner**

Inhaltsverzeichnis

1 3D-Scanner

Im Rahmen der Lehrveranstaltung „Computer Graphics“ wurde zum Thema „3D-Scanner“ dieses Projekt ausgearbeitet, welches sich mit den 3D-Scannern der HS-Fulda beschäftigt. Dies ist zum einen der 3D-Foto-Scanner (Scanbook von Scanbull) und zum anderen der 3D-Laserscanner von Roland, des Weiteren, wird der DAVID 3D-Laserscanner betrachtet. Diesbezüglich wird für die jeweiligen Scanner beschrieben, welche Bearbeitungsschritte notwendig sind, um einen einen Gegenstand zu scannen. Dabei wird auf grundlegende Dinge eingegangen. Zahlreiche Objekte wurden mit den Scannern erfasst. So wurden auch Problemfälle bei Scanns der jeweiligen Scanner dokumentiert. Es werden Vor- und Nachteile des jeweiligen Scanners aufgeführt.

1.1 Wozu benötigt man 3D-Scanner?

Im Allgemeinen benötigt man einen 3D Scanner, um bewegliche, kleine Objekte der Realität in Form eines 3D-Objektes in digitaler Form zu visualisieren.

1.2 Unterscheidung der grundlegenden Arten von 3D-Scannern

Man unterscheidet generell zwischen aktiven und passiven Scannverfahren. Bei den aktiven Scannverfahren muss das zu scannende Objekt systematisch abgetastet werden. Zu den aktiven Scannverfahren zählt ein Laserscanner, mehr dazu in Kapitel 2. Zu den passiven Scannverfahren gehört der Fotoscanner mehr dazu folgt in den folgenden Unterkapiteln.

1.3 Allgemeine Grundlagen 3D-Fotoscanner

Ein 3D-Fotoscanner basiert auf der Technik der Photogrammetrie. Die „klassische“ Photogrammetrie gehört zu den passives Scannverfahren. 3D-Scanner werden meist zur Erfassung transportabler, konvexer Körper eingesetzt. Dabei steht das Objekt auf einem Präzisionsdrehteller und eine Kamera fotografiert den Gegenstand unter bestimmten Winkeln ab. Unter der Photogrammetrie versteht man nach Quelle [Lit3] „die Registrierung und maßliche Rekonstruktion von Gestalt, Konstellation und Koordinaten räumlicher Objekte mittels fotografischer Abbildungen“. Dies setzt eine adäquate fotografische Aufnahme voraus, die wesentlich mehr Informationen über ein abgebildetes Objekt liefern, als nur eine Sammlung von Koordinaten oder eine Punktwolke. In der traditionellen Photogrammetrie wird ein rechtwinkeliges Koordinatensystem verwendet, das von der Bildprojektion auf eine Ebene ausgeht. Durch diese Tatsache ist der Blickwinkel auf weniger als 180 Grad eingeschränkt. Vorteil der Photogrammetrie ist eine ganzheitliche Informationsgewinnung über ein Objekt, bei einer rela-

tiv einfachen Aufnahme. Bezüglich der Aufnahme muss das Objekt nicht berührt werden (z.B. erfassen mit Abtastnadeln oder Abtasten eines Lasers etc. ist nicht notwendig) noch muss das Objekt strukturiert beleuchtet (dies würde bei der Streifenprojektion verwendet) werden. Ein weiterer Vorteil der Photogrammetrie ist, dass Aufnahmen auch nachträglich ausgewertet werden können, um daraus Informationen zu extrahieren. Die Photogrammetrie unterscheidet sich zur herkömmlichen Fotografie darin, dass hierfür noch zusätzliche Informationen über Maßzusammenhänge von den Abbildungseigenschaften der Kamera und über das aufgenommene Objekt vorhanden sein muss. Diesbezüglich müssen bereits vor der Aufnahme zusätzliche Vorbereitungen durchgeführt werden. Dabei müssen durch den Einsatz von Hilfsmitteln und Geräte sichergestellt werden, dass alle relevanten Informationen vollständig und in angemessener Qualität ermittelt werden können. Dies wird durch das Verwenden von Orientierungs- und Kalibrierungshilfen erreicht, daher nennt man dies auch Kalibrierung. Dennoch wäre nach Quelle [Lit3] prinzipiell jede fotografische Aufnahme photogrammetisch auswertbar (wird z.B. bei historischen Bildern gemacht). Für die Auswertung stehen heutzutage CCD (charged coupled device) - oder CMOS-Kameras, leistungsfähige Computersysteme und komplexe Software zur Verfügung. Um eine Auswertung vorzunehmen, muss die Abbildungsgeometrie bei der Kamera für die innere Orientierung bekannt sein. Der Abstand des Projektionszentrums von der Bildebene wird durch die Brennweite des Objektives der Kamera definiert. Dadurch wird zudem auch der Abbildungsmaßstab bei gegebenen Objektabstand festgelegt. Es lässt sich für jeden sichtbaren Bildpunkt der Einfallswinkel berechnen, wenn der Bildhauptpunkt in der Projektionsebene bekannt ist. Dieser wird durch die Objektivachse bestimmt. Zusätzlich zu den Richtungszuordnung der Objektpunkte werden auch deren Abstände zur Kamera benötigt, um eine räumliche Rekonstruktion durchzuführen. Dabei können dieses entweder über zusätzliche Informationen über das Objekt oder von anderen Abbildungen aus anderen Beobachtungspunkten ermittelt werden. Sind jedoch keine Maßzugehörigkeiten der Objektpunkte bekannt, so müssen die räumlichen Koordinaten mittels Mehrbildaufnahmen bestimmt werden. Dies setzt jedoch voraus, das jeder zu vermessende Punkt von wenigsten 2 Aufnahmestandorten aus erfasst wurde. Dies geschieht bei der Vermessung über das Triangulationsprinzip. Dabei bildet jeder Objektpunkt mit 2 Beobachtungspunkten ein Dreieck. Dieses Dreieck wiederum besteht aus 3 eindeutig bestimmenden Größen, z.B. den Abstand zwischen 2 Beobachtungspunkten und den beiden Abbildungswinkeln. Um die Raumkoordinaten zu bestimmen, müssen die verschiedenen Objektpunkte gewählt werden und diese in verschiedenen Abbil-

dungen identifiziert werden. Vgl. [Lit3]

1.4 Vorbemerkung optisches Scannverfahren

Der praktische Teil zum optischen Scannverfahrens wurde an der HS Fulda mit Hilfe des optischen 3D-Scanners (3D-ScanBook) der Firma Scanbull realisiert. Daher wird explizit der Erfassungsprozess von Objekten der Realität als 3D-Objekt mit Hilfe des Scanners der Firma Scanbull in den folgenden Abschnitten erläutert.

1.5 Informationen über Scanbull

Scanbull ist eine Firma, die optische 3D-Scanner entwickelt und produziert. Mit Hilfe dieser Scanner ist es möglich, Objekte der Realität automatisiert dreidimensional zu erfassen, um diese digital zu visualisieren. Das Unternehmen Scanbull hat seinen Hauptsitz in Hameln (Deutschland). Die Firma hat im Jahre 2008 einen weiteren Standort in Bochum auf dem ehemaligen, 2008 geschlossenen Nokia Firmengelände eingerichtet [vgl. Weblink 1].

1.5.1 Vorgehensweise der Scanbull Scanner

Die zu visualisierenden Gegenstände werden auf einen Drehteller mit einem einfarbigen Hintergrund (blau), kann bei einigen Modellen auch durch andere Hintergrundfarbe ersetzt werden, gestellt. Um den Drehteller herum werden 2 diffuse (ungerichtet) Lichtquellen platziert, die für die Beleuchtung des zu scannenden Gegenstandes sorgen. Eine kompatible Digitalkamera, an der HS Fulda wird eine Nikon 5000 bei dem Scanner verwendet, die eine Bildauflösung von 2560x1920 erzeugen kann, fotografiert den Gegenstand ab. Der Drehteller, die Beleuchtung und die Digitalkamera sind dabei mit dem Computer verbunden. Die 3D-Scanner-Software kann die einzelnen Komponenten des Scanners steuern. So kann die Software die Beleuchtung des Scanners ein- und ausschalten. Die Software ist in der Lage, den Teller des Scanners nach einer beliebigen Anzahl von Zwischenschritten um 360 ° zu drehen. Die angeschlossene Kamera, befestigt auf einem kleinen Stativ, macht dabei nach jeder Drehbewegung des Tellers ein digitales Foto und sendet dieses (über USB-Verbindung) zur 3D-Scannsoftware. Der Winkel für die Zwischenschritte ist dabei abhängig von der eingestellten Bilderzahl, die für die Objektaufnahme eingestellt wird (360°/Bildanzahl). Nach der 360-Grad-Erfassung wird der Hintergrund des Objektes abgezogen. Die Software ermittelt dann mit bestimmten Algorithmen anschließend Anhand der einzelnen Aufnahmen ein 3D-Modell. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Bearbeitungsschritte zum Erfassen eines Objektes erfolgt im Kapitel 1.7.

Nach Quelle [Weblink 2] ist der Scanner „3D-ScanBook“ von Scanbull, der auch auf der Photokina 2008 vorgestellt wurde, „ein erstes 3D-Scansystem für unterwegs“. Diese Mobile Scannstation ist die kleinste Bauart der 3D Scanbull-Reihe. Für ca. 2000 Euro soll es die Grundausstattung des Modells „3D-ScanBook“ geben. Dieses umfasst das 3D-Scanbook mit Drehteller, Beleuchtungshalter, Stativ und der Scansoftware.
[vgl. Weblink 2], [Lit1]

1.5.2 verschiedene Modelle der Firma Scanbull

Die Firma Scanbull besitzt ein Sortiment mit 3 verschiedenen Grundtypen - 3D-ScanBook, ScanTable,ScanSpyder von 3D-Foto-Scannern, die es in verschiedenen Variationen gibt. Den Scantable gibt es in 5 Versionen, die eine Rückwandbreite von 60cm bis 180 cm gibt., dabei eine Objektgröße bis zu 240cm bei einem Gewicht von bis ca. 250 kg möglich ist. Der neue ScanSpyder kann gar Objekte bis 7m scannen. Weitere Informationen siehe Herstellerhomepage ***http://www.scanbull.de/web/hardware.php***



Abbildung 1: ScanTable



Abbildung 2: 3D Scanbook

1.6 Optische Fotoscanner

Dieser Abschnitt beschäftigt sich dem optischen Fotoscanner. Dabei werden auf grundlegende Dinge des Scannverfahrens mit dem Scanner eingegangen, sowie die einzelnen Bearbeitungsschritte erläutert.

1.6.1 Technische Daten des Scanners

3D Scanbook	
Abmessung des Scanners (zugeklappt)	40x42x6 [cm] (L,B,H)
Max. Beladung des Drehtellers	4 kg
Scanbares Volumen (Objekt-größe)	20 cm (Durchmesser) x 25 cm (Höhe)
Verwendetes Scanverfahren	Silhouetten-Verfahren

Quelle: Scanbull-Handbuch [Lit1]

1.6.2 Informationen zum Programm Scanbook

Das Programm ScanBook 3.36 ist das Hauptscannprogramm, welches bei dem Scanbull-Scanner von Scanbull mitgeliefert wurde. Die Software wird benötigt, um den eigentlichen Scanvorgang durchzuführen. Dabei ist die Software in der Lage, die Komponenten des Scanners, dies sind Digitalkamera, Drehteller und Beleuchtung zu kontrollieren. Die Applikation ist diesbezüglich in der Lage, die erfassten Informationen zu nutzen, um das gewünschte 3D-Objekt zu erzeugen.

1.7 3D-Scannen mit dem Scanner Scanbull

In dem folgenden Unterabschnitten wird erläutert, welche Schritte durchlaufen werden müssen, um ein Objekt der Realität mit einer Größe bis 20 cm * 25 cm und einem Gewicht bis 4 KG (Daten laut Scanbull Handbuch [Lit1]) als eine digitale Visualisierung in Form eines Modells zu erzeugen. Diesbezüglich wurde der vorhandene Scanbull-Fotoscanner und die vorhandene Software des CAE-Labores der HS-Fulda verwendet. Es wird das Silhouettenverfahren erläutert, mit welchem die Software arbeitet. Diese Vorgehensweise ist in etwa deckungsgleich mit den Arbeitsabläufen optischer Scanner anderer Hersteller. Siehe auch c't 3/2000 [Lit6] Scanner von Dimension 3D-Systems.

1.7.1 Konfiguration

Der 1. Schritt zu Beginn des Scannvorganges dient der Konfiguration und vor allem der Überprüfung der Scannerkomponenten. Diesbezüglich kann überprüft werden, ob die Komponenten korrekt mit dem Computer verbunden sind und funktionieren. Es kann die Digitalkamera ausgewählt und getestet werden, sowie die Kontrolle, ob der Drehteller des Scanners richtig angeschlossen ist und daraufhin die Software in der Lage ist, diesen zu drehen, überprüft werden. Zudem kann auch die Beleuchtung des Scanners überprüft und für den Scannvorgang aktiviert werden. Als Digitalkameras (hier: Nikon 5000, Auflösung bis zu 2560x1920) können zum Scannen nur zur Software kompatible Modelle verwendet werden, die in dem so genannten PTP-Modus (picture transfer protocol) über den Computer arbeiten. Der PTP-Modus ist dazu da, dass die Bilder sofort an den Computer übertragen werden und nicht im Kamera Speicher abgelegt werden. Bevor mit dem Scannvorgang begonnen wird ist natürlich darauf zu achten, dass die Kamera angeschaltet ist und das Kamera-Viewing Volumen – Objektiv-Fokus - ideal auf den Drehteller mit dem

Objekt ausgerichtet ist. Hierfür ist bei der Kamera zu überprüfen, ob das Nahaufnahmemakro (=Blumensymbol) eingestellt ist. Dies kann nur überprüft werden, indem das Kabel des USB-Anschluss der Kamera entfernt wird. Bei dieser Gelegenheit kann auch die Schärfe des Aufnahmeobjektes durch leichtes Drücken des Kameraauslösers, durch Autofokus-Funktion, eingestellt werden. USB-Kabel anschließend wieder anschließen.

1.7.2 Kalibrierung

Nach der Überprüfung der Hardwarefunktionalität muss die Kalibrierung durchgeführt werden. Die Kalibrierung hat den Zweck, dass dadurch die Parameter der Kamera richtig eingestellt werden können. Hierunter fallen die Bestimmung der Brennweite, die Radialverzerrung und auch die relative Position und die Orientierung der Kamera zur Drehachse zum Drehteller hin. Um diese Kalibrierung durchführen zu können, gehören zur Ausrüstung des Scanners verschiedene Kalibrierungsmuster (siehe Bild 3) in verschiedenen Größen. Je nachdem, wie groß der zu scannende Gegenstand ist, sollte das passende Kalibrierungsmuster verwendet werden. In der Software muss das Muster auch ausgewählt werden. Dieses Muster muss nun in die Mitte des Tellers gestellt werden (siehe Bild 4). Die Kamera nimmt einige Bilder des Musters aus verschiedenen Positionen auf. Der Teller dreht sich nach jedem Foto um einige Grad. Mindestens 4 Bilder muss das Programm ordnungsgemäß erkannt haben, ansonsten schlägt die Kalibrierung fehl. Der Kalibrierungsvorgang wird nach Auswahl des Musters automatisch durchführt.[vgl. Lit1]



Abbildung 3: Kalibierungsmuster


Abbildung 4: Muster auf Teller

1.7.3 Objektaufnahme

Wurde die Kalibrierung erfolgreich beendet, so erfolgt nun die Objektaufnahme. Das Kalibrierungsmuster ist nun zu entfernen und anstelle dessen das zu scannende Objekt auf den Teller zu stellen. Es muss bei der Scannsoftware nun eingestellt werden, wie viele Bilder der Scanner schießen soll. Dabei sind 4 Bilder das Minimum an Bildern, und 72 das Maximum, um ein Objekt zu erfassen. Je mehr Bilder von einem Objekt erzeugt werden, desto besser wird in der Regel das Resultat. Je mehr Bilder man wählt, um so länger dauert natürlich auch die Aufnahmezeit. Jedoch bekommt man auch schon mit einer geringen Bilderzahl relativ gute Resultate. Für die von mir durchgeführten Aufnahmen habe ich in der Regel 20 Bilder gewählt und dabei gute Resultate erzielt. Zudem lassen sich noch eine Aufnahmeverzögerung aktivieren. Diese Verzögerung ist zu beachten, wenn man elastische (bewegliche) Objekte einscannen will. Für meine Scannversuche verzögerte ich hier 1 Sekunde.

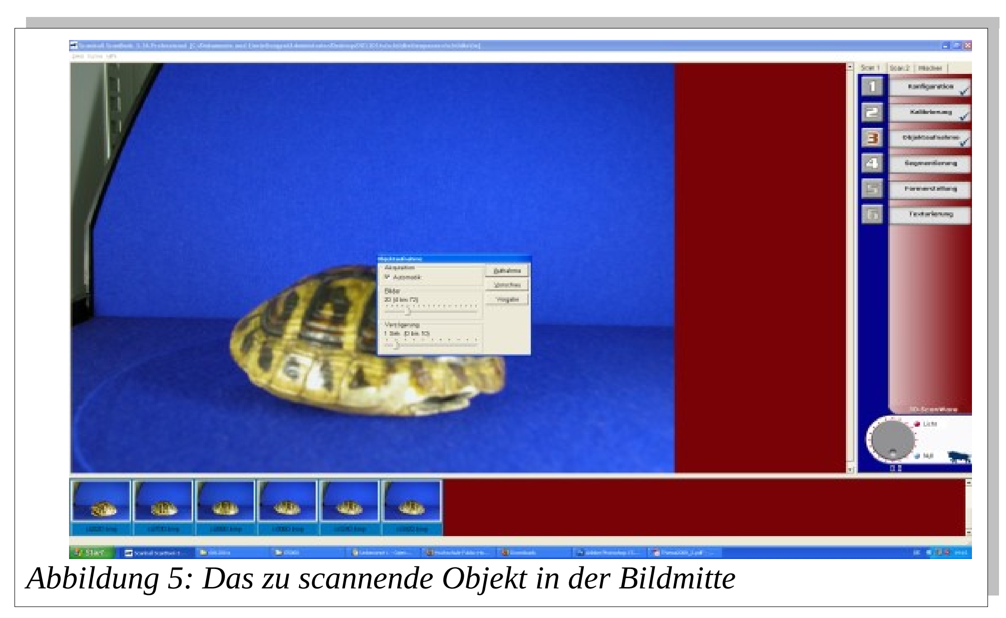


Abbildung 5: Das zu scannende Objekt in der Bildmitte

Es empfiehlt sich die Akquisition auf Automatik zu belassen. Dadurch dreht das Programm automatisch den Teller, auf welchem das Objekt steht. Je nach Bilderzahl wird immer in bestimmten Grad-Abschnitten gedreht (360°/Bilderanzahl). Wurde die Objektaufnahme gestartet, so erzeugt die Kamera ein Foto, anschließend wird der Teller gedreht, die Kamera macht wieder ein Foto usw. Dies geschieht solange bis die definierte Anzahl von Bildern aufgenommen wurden und das Objekt um 360° abfotografiert wurde. Die einzelnen Aufgenommenen Bilder werden direkt zum Programm übertragen und dort für den Weiterbearbeitungsprozess abgelegt.

Die Abbildung 5 zeigt den Schildkrötenpanzer in der Mitte des Tellers, der mit 20 Bilder von 360 Grad fotografiert wurde. Im unteren Bereich des Bildschirmes sind die einzelnen aufgenommen Bilder zu sehen, die für die folgenden Verarbeitungsabschnitte weiterverwendet werden.

1.7.4 Segmentierung

Bei den momentanen Aufnahmen des Objektes besteht das Problem, das darauf die Software nicht automatisch erkennen kann, was zum Scannobjekt gehört und was nicht. Aus diesem Grund muss die Segmentierung durchgeführt werden. Bei der Segmentierung wird der Hintergrund von den relevanten Objektdaten abgezogen. Um diesen Trennvorgang durchzuführen, müssen die einzelnen Farbwerte des Hintergrundes manuell ausgewählt werden. In diesem Fall alle Blauwerte um den zu scannenden Schildkrötenpanzer herum.

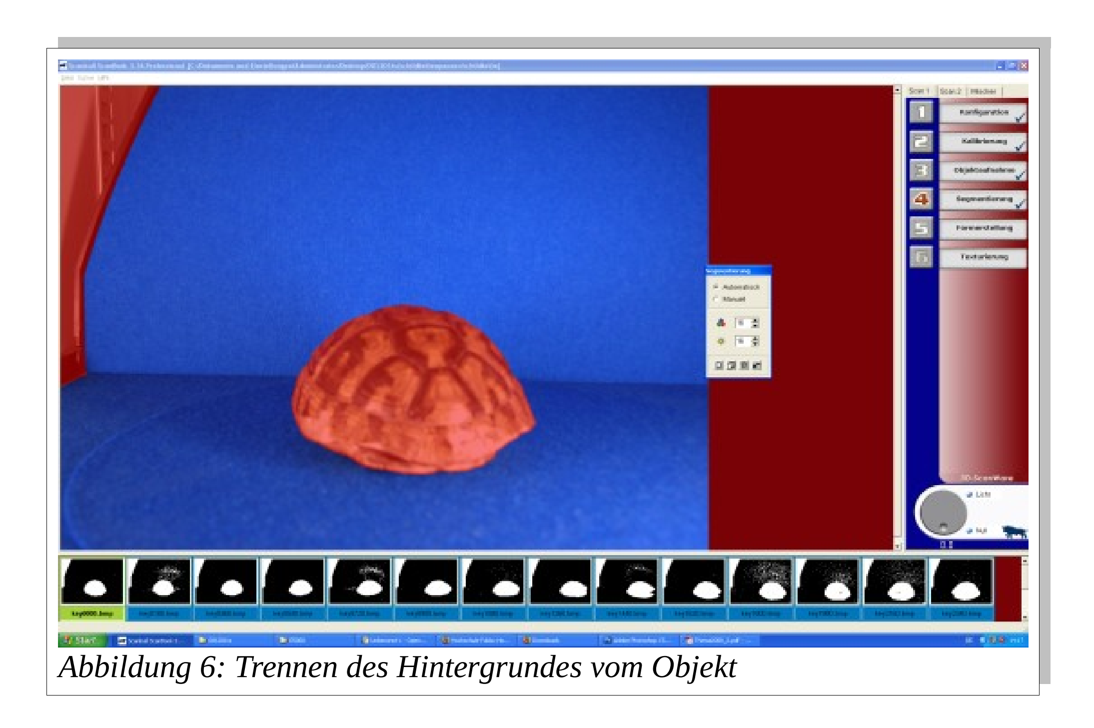


Abbildung 6: Trennen des Hintergrundes vom Objekt

Die Abbildung 6 zeigt die durchführte Segmentierung, also die Trennung des blauen Hintergrundes vom Schildkrötenpanzer. Wurden die entsprechenden Hintergrundfarben korrekt erfasst, bleibt nur noch das eigentliche Objekt (rot eingefärbt) für den Weiterverarbeitungsprozess übrig. Wenn bei einem aufgenommenen Bild der Hintergrund abgewählt wurde, so kann die Software die Segmentierung des Hintergrundes auf den folgenden Bildern automatisch durchführen. Ist dies jedoch nicht der Fall, bzw. hat die automatische Erfassung nicht alle Farbbereiche des Hintergrunds erfasst, so muss manuell bei den einzelnen Bildern nachgebessert werden. Besitzt ein zu scannendes Objekt den

gleichen Farbton wie der Hintergrund, so führt dies zu Problemen und dadurch zu Modellierungsfehlern.

1.7.5 Formerstellung

Für die Formerstellung verwendet die Scanbull-Software das sogenannte „Silhouettenschnittverfahren“, dadurch ist es möglich echte 3D-Modelle zu erzeugen. Bei dem Silhouettenverfahren werden die Umrisse eines Objektes verwendet, um daraus ein 3D-Modell zu erstellen. Bei diesem Verfahren nutzt man aus, dass sich das Objekt immer innerhalb einer Silhouette befinden muss. Wichtig hierbei ist, dass für die Visualisierung nur das Objekt betrachtet wird, und der Hintergrund bereits entfernt wurde. Zusammen mit der Objektgeometrie und den Flächen des Objektes definieren diese ein konusförmiges (eine Art kugelförmiges) Volumen, in welchem sich das reale Objekt befinden muss. Diese Eigenschaft muss folglich auch für alle unterschiedlichen Perspektiven der Bilder des erfassten Objektes gelten und muss die Geometrie auch innerhalb des Schnittpunktes aller Volumina liegen.

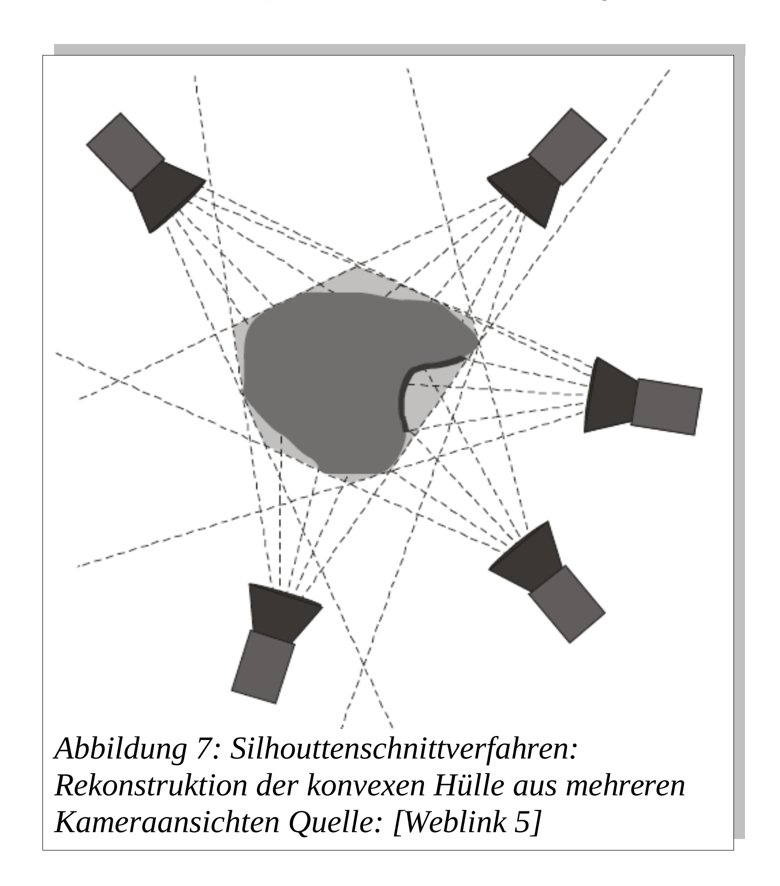


Abbildung 7: Silhouttenschnittverfahren: Rekonstruktion der konvexen Hülle aus mehreren Kameraansichten Quelle: [Weblink 5]

Mit Hilfe der Volumenbeschreibungen aller Volumina lässt sich sehr effizient der Schnitt erzielen. Das zu erstellende 3D-Volumen wird diesbezüglich in kleine Würfel zerlegt, den so genannten Voxel. Diese Würfel werden in alle An-

sichten projiziert. Liegt einer dieser Vokel bei mindestens einem aufgenommenen Bild außerhalb der Silhouette des Objektes, so wird dieser Vokel entfernt.

Nach der Quelle [Weblink 5] lässt sich mit dem Silhouettenverfahren nicht exakt die Geometrie bestimmen, sondern nur die konvexe Hülle des Objektes rekonstruieren. Dies hat die Folge, dass kleine Dellen in der Oberfläche, die in der Silhouette nicht sichtbar sind, auch nicht modelliert werden können.

So hat das Verfahren (und dadurch auch die Scanbull-Software) eine prinzipielle Schwäche beim Erfassen von konkaven Teilen. So werden das Innere einer Tasse zum Beispiel nicht ausgehüllt (siehe Kapitel 1.7.10.1 Problemfälle und dort Abbildung 24 und Abbildung 25).

Anhand der Objektbilder nach der Segmentierung errechnet die Software nun das 3D-Modell. Diesbezüglich betrachtet die Software die Umrisse des Objektes, die Silhouetten. Von einem Volumenquader, der die Maße des Objektes hat, wird alles entfernt, was nicht zum Objekt gehört und nur die erkannten Silhouetten der segmentierten Bilder, aus verschiedenen Blickwinkeln übrig gelassen.

Diesen ersten Vorgang bezeichnet man als Silouettenschnitt und ist mit der Arbeit eines Bildhauers vergleichbar. Am Ende der Silhouettenschnitts entsteht ein Volumenmodell des Objektes im Dreidimensionalen Raum (siehe Abbildung 8). Dieser wird als Voxelraum bezeichnet. Einen Punkt aus diesem 3D-Raum nennt man wiederum Voxel (volume element).

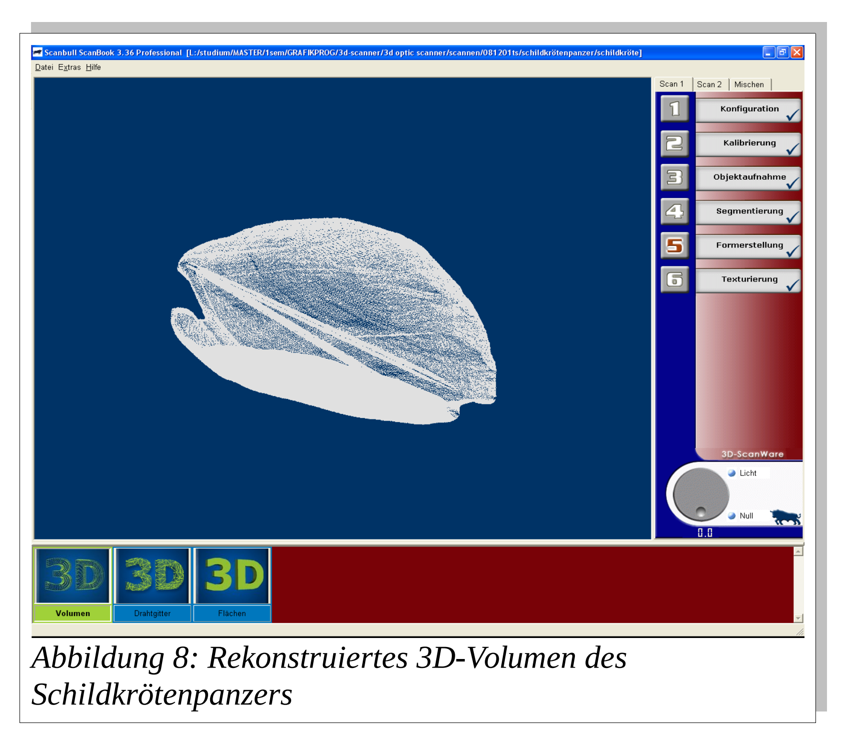


Abbildung 8: Rekonstruiertes 3D-Volumen des Schildkrötenpanzers

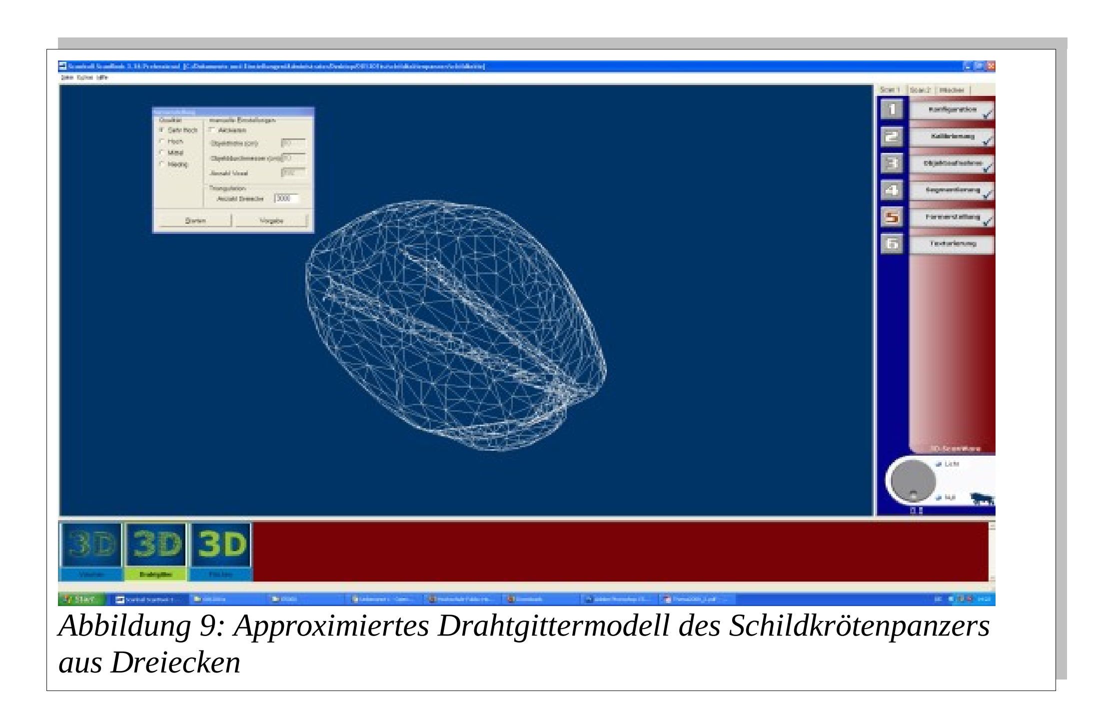


Abbildung 9: Approximiertes Drahtgittermodell des Schildkrötenpanzers aus Dreiecken

Anhand des erhaltenen Volumenmodell wird nun durch Approximation versucht, dieses mit Hilfe von sehr kleinen Dreiecken nachzubilden. Im Anschluss daran werden diese kleineren Dreieck zu größeren Dreiecken kombiniert, um so das Datenaufkommen zu reduzieren. Am Ende dieses Vorganges erhält man die Nachbildung dieses Objektes aus einer Menge von Dreiecken als Drahtgittermodell. Anhand der Dreiecke können nun die äußeren Dreiecksoberflächen als Fläche dargestellt werden. Die Abbildung 10 zeigt den Schildkrötenpanzer als Flächenmodell. Die Software zeichnet das Objekt standardmäßig mit Grauenflächen (Flatshading). Diese Flächen können dann anschließend mit Texturen versehen werden (dies geschieht im folgendem Kapitel 1.7.6).

Die Anzahl der Dreiecke, aus denen sich ein Objekt zusammensetzt ist, bei der Scanbullsoftware softwarelizenzmäßig beschränkt. So ist die maximale Anzahl, die die lizenzierte Software der HS-Fulda anwenden kann, auf 3000 Dreiecke für die Triangulation beschränkt. Aus technischer Sicht, auch bei diesem Scanner, ist es natürlich möglich, ein Objekt aus noch mehreren Dreiecken zu erzeugen (über 12000). Rein softwarebedingt ist diese auf 3000 beschränkt. Es ist empfehlenswert jedes Objekt mit 3000 Dreiecken erfassen zu lassen.

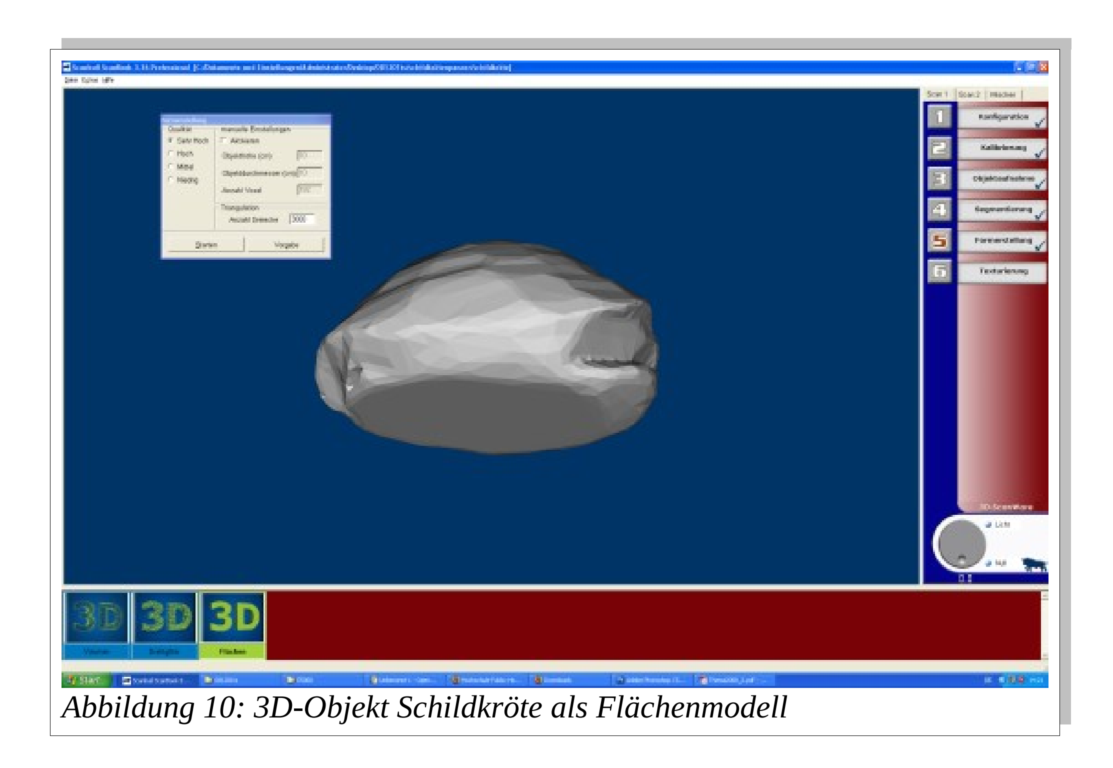


Abbildung 10: 3D-Objekt Schildkröte als Flächenmodell

Die Form des Objektes wurde nun als Modell rekonstruiert. Schon jetzt kann das Objekt von allen Seiten betrachtet werden. Da die aufgenommen Bilder nicht nur für die Formerstellung verwendet werden können, sondern diese auch die Oberfläche des Objektes mit Texturen enthalten, kann die Software diese Bildinformationen für die Texturierung des Modells verwenden. Dies wird im folgenden Abschnitt 1.7.6 Texturierung beschrieben.

[vgl.Lit1], [vgl. Weblink 4], [vgl. Weblink 5]

1.7.6 Texturierung

Die Texturierung ist der Prozess, bei dem die Oberflächen der äußeren Dreiecke des Drahtgittermodells einer Oberflächengestaltung unterworfen werden. Diesbezüglich wird auf die Oberfläche der Dreiecke Grafiken aufgebracht. Hierbei bedient sich die Software an den bereits aufgenommenen Bildern der Objektaufnahme (Kapitel 1.7.3). Die Software wählt automatisch einige Bilder aus, die für die Texturgewinnung genutzt werden sollen. Man kann auch manuell einige der aufgenommenen Fotos auswählen. Die gewonnenen Bildinformationen mit den Farbwerten werden nun auf das Modell übertragen und dadurch kann ein realitätsgetreues 3D-Modell mit Originaltexturen entstehen.

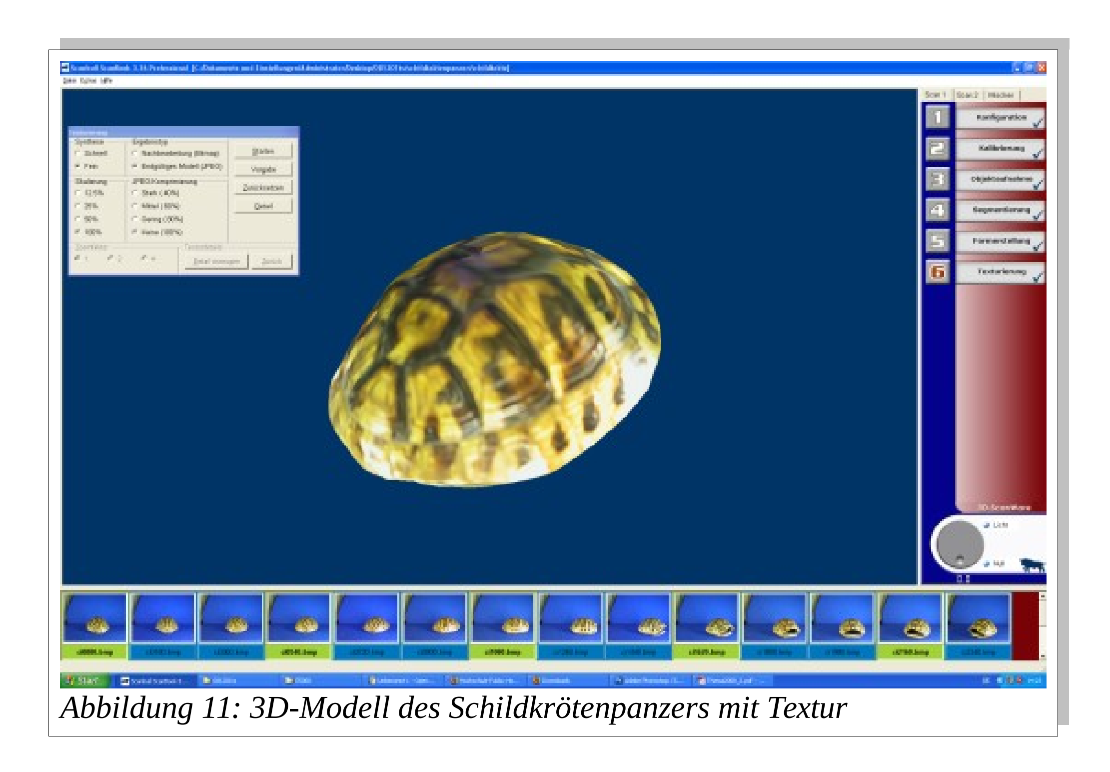


Abbildung 11: 3D-Modell des Schildkrötenpanzers mit Textur

Die Abbildung 11 zeigt das Modell der Schildkröte nun mit seiner Texturierung, also mit Oberflächenfarbinformationen. Eigentlich wäre nun die Visualisierung des Schildkrötenpanzers abgeschlossen. Jedoch gilt es zu bedenken, dass bei diesem Scanversuches der Schildkrötenpanzer flach auf dem Boden des Scantellers stand – siehe Abbildung 5. Dies bedeutet, dass der Bodenbereich des Schildkrötenpanzers nicht von dem Scanner erfasst wurde.



Abbildung 12: 3D-Ansicht des Schildkrötenpanzers von unten

Aus diesem Grund ist wie in Abbildung 12 zu sehen die Software nicht in der Lage, eine Annäherung der realen Struktur sowie eine originalgetreue Textur für die Unterseite des Schildkrötenpanzers zu erzeugen. Es besteht die Möglichkeit einen 2. Scannversuch zu unternehmen. Auf diese Thematik wird im folgenden Unterpunkt 1.7.7 eingegangen.

1.7.7 Zweiter Scannvorgang

Der 2. Scannversuch hat dem Zweck, das zu scannende Objekt in einer anderen Stellung auf den Scannerteller zu platzieren und einzuscannen. Dadurch kann eine Erfassung der Bereiche des Objektes erfolgen, welche im 1. Scanversuches nicht erfasst werden konnten und somit auch zuvor von der Kamera nicht erfasst werden konnten. In diesem Fall wurde der Schildkrötenpanzer seitlich auf den Teller platziert, wie in Abbildung 13 zu sehen ist.



Abbildung 13: Schildkrötenpanzer mit der Seite auf Teller gestellt

Für den 2. Scann müssen die kompletten Arbeitsabläufe von Kapitel 1.7.2 Kalibrierung bis 1.7.6 Texturierung erneut durchgeführt werden. Anschließend



Abbildung 14: 2. Scann 3D- Flächenmodell



Abbildung 15: 2. Scann 3D-Texturmodell des Panzers (Rückseite)

müssen die beiden Scann miteinander kombiniert werden (1.7.8 Mischen). Die Abbildung 15 zeigt das Modell nach dem 2. Scann des Schildkrötenpanzer von der Unterseite. Somit wurde nun der Bereich erfasst, der beim 1. Scanvorgang nicht von der Kamera erfasst werden konnte.

1.7.8 Mischen

Wie bereits geschrieben kann es Hilfreich sein, ein Objekt 2 mal um verschiedene Achsen zu scannen, so dass alle Bereiche des zu scannenden Objektes erfasst werden können. Bei diesem Vorgang wird ein Mergeing (Mischen) von beiden Scannversuchen durchgeführt. Dieses Mischen ist empfehlenswert, wenn eine Rundum-Ansicht des Objektes erzeugt werden, also auch der Boden des Objektes erfasst werden soll. In diesem Fall wurde dadurch auch das Unterteil des Schildkrötenpanzers erfasst. Dieser Mischvorgang kann die Scanbull-Software automatisch erledigen. Jedoch kann das Berechnen des Mischmodelles je nach Rechnerleistung sogar einige Stunden benötigen (in diesem Fall dauerte es 1. Stunde auf dem CAE-Labor-Rechner). Die Software ermittelt dabei die optimalen Positionen der einzelnen Voxelpunkte und führt auch die kombinierte Texturierung aus beiden Scanns durch.

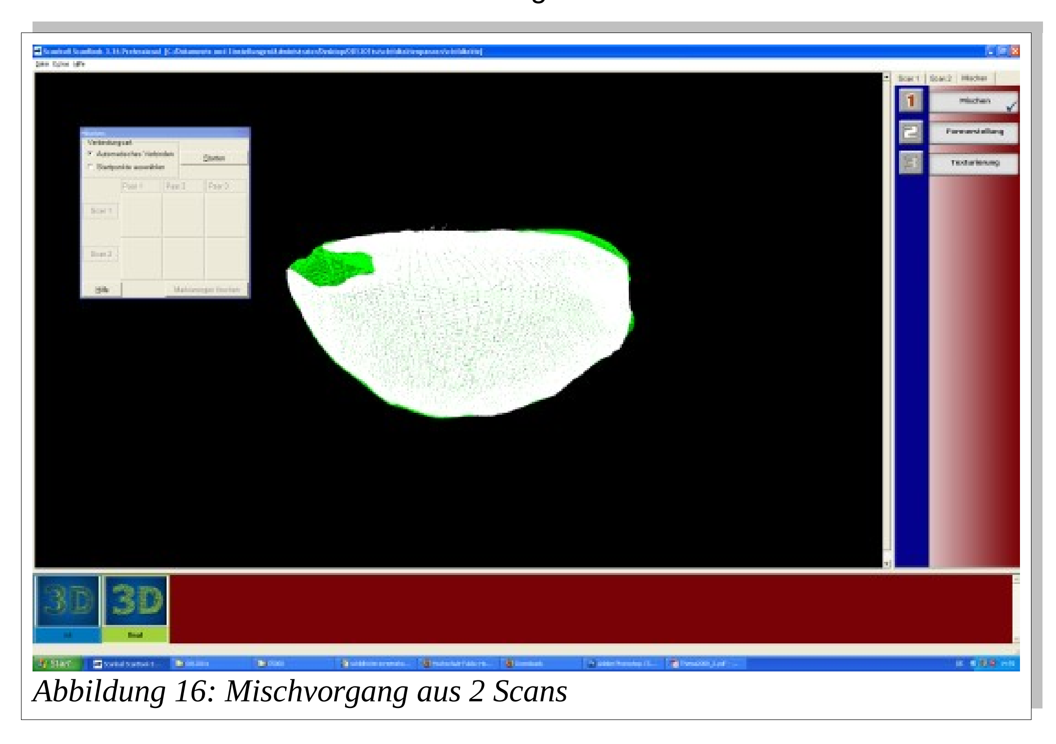


Abbildung 16: Mischvorgang aus 2 Scans

Wie aus Abbildung 16 zu erkennen wird in hier eine Kombination der beiden Volumina der beiden Scannvorgänge durchgeführt. In diesem Falle hat die Software das Berechnen des neuen Modells automatisch durchgeführt. Es be-

steht auch die Möglichkeit dies manuell durchzuführen, falls die Software dies nicht automatisch bewerkstelligen kann. Sollte eine manuelle Kombination durchgeführt werden, so müssen von einigen Bildern der einzelnen Scannvorgänge Bilder gewählt werden und dabei eine Referenz von Bild des Scannvorgang 1 mit Scannvorgang 2 über einen gemeinsamen Referenzpunkt durchgeführt werden. Anschließend berechnet die Software das Modell wieder automatisch. In der Regel ist der manuelle Schritt nicht notwendig.

1.7.8.1 Resultat aus 2 Scanns eines Objektes

Hier wird nun nachdem das Mischen der beiden Objekterfassungen durchgeführt wurden, das gescannte Resultat des Schildkrötenpanzers gezeigt.

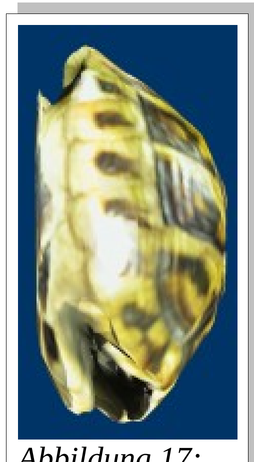


Abbildung 17: gemischtes 3D-Modell (Seite)



Abbildung 18: gemischtes 3D-Modell (Seite)



Abbildung 19: gemischtes 3D-Modell (unten)

Das 3D-Objekt kann anschließend noch mit externen Programmen wie z.B. Lightwave Moduler oder auch dem von Scanbull-Nachbearbeitungssoftware „Merlin“ siehe Kapitel 1.8 nachbearbeitet werden.

Auf den Abbildungen 17, 18, 19 ist zu erkennen, das der Schildkrötenpanzer vollständig erfasst wurde und dadurch eine Rundum-Ansicht möglich ist. Damit wurde nun das vollständige Objekt erfasst und kann nun weiterverarbeitet werden, in dem es in den verschiedensten Programmformaten abgespeichert werden kann, dies wird im nächsten Abschnitt (1.7.9) erläutert.

1.7.9 Formate, Exportmöglichkeiten, Scandateien als Nachbearbeitungsmöglichkeit

Die Software ScanBook 3.36 von Scanbull ist in der Lage das Modell in den Formaten SPX-Modell (.SPX), 3D-Studio (.3ds) und in Form einer HTML (.html) zu Speichern. Zudem speichert das Programmen bereits beim Anlegen eines neuen Projektes das Modell im eigenen Format „.cfg“ ab. Sämtliche Bilddateien legt das Verzeichnis in Unterordnen ab, in welchem das Projekt angelegt wird. So werden alle Objektaufnahme Bilder unter „ciXXXX.bmp“ abgelegt. Alle Bilder für die Kalibrierung mit „mctrXXXX.bmp“. Alle Bilder, die das Objekt nach der Segmentierung definieren sind als schwarz-weiß Bitmaps mit dem Namen „keyXXXX.bmp“ abgespeichert. Die „XXXX“ bei den Dateinamen stehen jeweils für eine Zahl mit 4 Stellen. Die „XXXX“ Zahlen stellen zudem eine Verknüpfung der Objektaufnahme-Bilder und den Sementierungsbildern her (XXXX → Bild der Objektaufnahme, Bild der Segmentierung). Alle diese Bilddateien können nachträglich mit einem externen Bildbearbeitungsprogramm (z.B. mit Adobe Photoshop oder Gimp) nach bearbeitet werden. Dadurch kann man den Verarbeitungsvorgang des Scanns manipulieren. Demzufolge kann man Änderungen z.B. an der Textur bewirken. Diese Änderungen sind natürlich sehr aufwendig, da diese im Prinzip auf alle Objektbilder durchgeführt werden müssen, bzw. auf denen, die für die Texturierung ausgewählt werden. Wie bereits in Kapitel 1.7.4 Segmentierung angesprochen, kann es zu Problemen führen, wenn das zu scannende Objekt Farben des Hintergrunds (blau) enthält. Wählt man bei der Segmentierung den Hintergrund ab, so kommt es vor, dass dieser Farbbereich auch im Objekt ausgewählt wird und dementsprechend Probleme beim Erzeugen des Modelles auftreten. Dies kann unterbunden werden, wenn die „keyXXXX.bmp“-Dateien mit einem externen Bildbearbeitungsprogramm geöffnet werden. Dort auf den Bildern ist der Hintergrund in schwarzer Fläche markiert. Die relevanten Objektdaten sind alle in einer weiß Fläche, die das Objekt im Umriss begrenzt, enthalten. Sind dort schwarze Pixel, bzw. Flächen in dem Objekt (weiß) enthalten, die dort nicht hingehören, so handelt es sich um die irrtümlicherweise mit ausgewählten Farbtöne der Segmentierung, die das Programm als Hintergrund empfunden hatte. Hierzu siehe Abbildungen 20. Diese sind auf allen „keyXXXX.bmp“ zu entfernen und durch weiß zu überdecken. Es können auch sonstige Fehler die bei der Segmentierung aufgetreten sind, durch diese Variante korrigiert werden. Die Abbildung 21 zeigt den korrigierten Segmentierungsfehler, indem der Objektumriss und Fläche nachbearbeitet wurde. Hat man dies durchgeführt, dann sollte man das Scannprojekt erneut öffnen und die Bearbeitungs-

schritte 1.7.5 Formerstellung und 1.7.6 Texturierung erneut vom ScanBull Programm durchführen lassen.

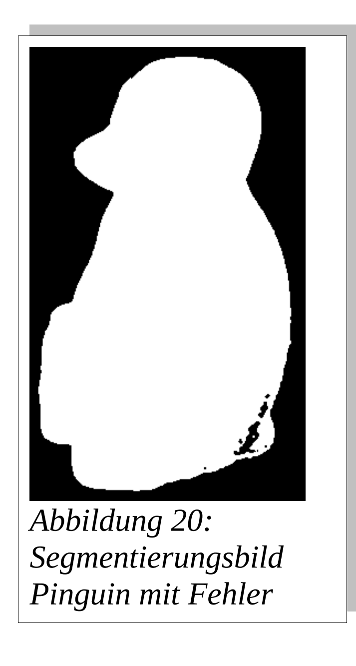


Abbildung 20: Segmentierungsbild Pinguin mit Fehler



Abbildung 21: Segmentierungsbild Pinguin ohne Fehler

Die erneuten Scann-Resultate sollten nun deutlich besser aussehen und keine ungewollten Löcher in dem Scannobjekt auftauchen.

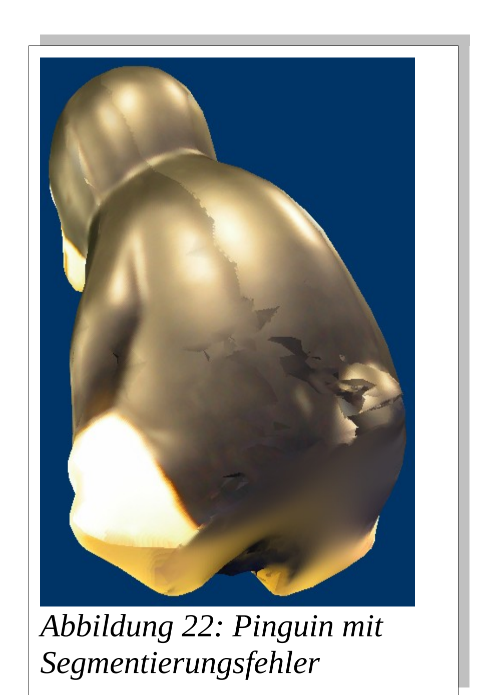


Abbildung 22: Pinguin mit Segmentierungsfehler

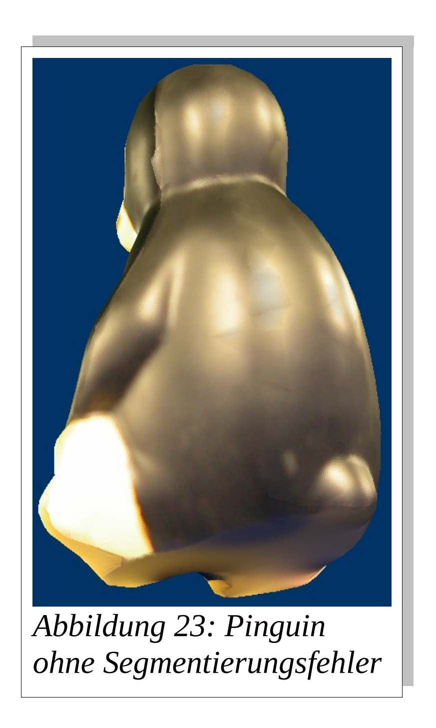


Abbildung 23: Pinguin ohne Segmentierungsfehler

Führt man die oben beschriebenen Schritte der Segmentierungskorrektur der einzelnen Dateien durch, so wird das Resultat deutlich besser, wie man aus einem Vergleich der Abbildungen 22 und Abbildungen 23 auf dem ersten Blick erkennen kann.

1.7.9.1 Exportmöglichkeit für Lightwave

Die Exportmöglichkeit für Lightwave ist dadurch gegeben, indem man das erstellte Modell einfach in das Format „.3ds“ abspeichert.

1.7.10 Weitere Scanbeispiele

Unter diesem Unterpunkt folgen weitere Scanobjekte, die ich im Rahmen dieser Ausarbeitung gescannt habe. Es folgen zunächst unter Abschnitt 1.7.10.1 Problemfälle.

1.7.10.1 Problemfälle

Unter diesem Abschnitt werden einige Problemfälle gezeigt, die der Scanbull Scanner besitzt.

Wie bereits im Abschnitt 1.7.5 Formerstellung beschrieben, dass der Scanner Probleme mit konkaven Teilen besitzt. Somit ist das Innere einer Tasse wie in Abbildung 24 und Abbildung 25 ersichtlich nicht ausgefüllt.



Abbildung 24: Studententasse (mit Textur)



Abbildung 25: Studententasse (ohne Textur)

Weitere Probleme besitzt das Scannsystem, wenn das zu scannende Objekt Farbanteile des Hintergrunds besitzt oder gar komplett aus der Hintergrundfarbe besteht. Eine Variante, wie man kleinere dieser Segementierungsfehler ausgleichen kann wurde bereits im Kapitel 1.7.9 beschrieben. Ist das Objekt komplett in den Farbtönen wie der Hintergrund (blau), so besteht nur die Möglichkeit ein anderes Hintergrundlayout vom Hersteller zu erwerben und zu verwenden, wenn man dieses Objekt unbedingt visualisieren will.

Probleme hatte der Scanner auch beim Erzeugen eines Modells einer Alf-Figur, welche plüschig haariges Kunstfell hatte. Den Alf aufrecht sitzend (siehe Abbildung 26 konnte der Scanner einigermaßen erfassen. Zur Verbesserung des Objektes führte ich einen 2. Scann durch, indem ich den Alf seitlich auf den Scannteller platzierte (siehe Abbildung 28). Dies führte zu dem schlechtesten Scann, den ich mit dem Scanner erreicht hatte. Die Abbildung 27 zeigt das Resultat, welches mit der Alf-Figur nichts mehr zu tun hatte. Sieht eher wie ein Kegs aus. Aus diesem Scann ist zu erkennen, dass der Scanner nicht nur makellose Scanns erzeugt. Bei dem Modell (Abbildung 27) stimmt weder die Form des Objektes noch die Textur.

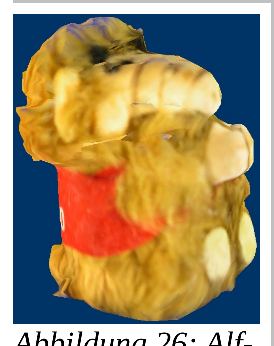


Abbildung 26: Alf-3D-Objekt (aufrecht gescannt)

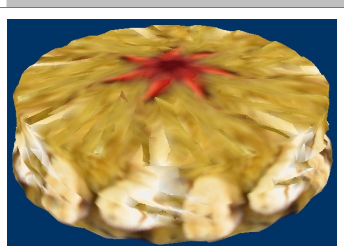


Abbildung 27: Erzeugtes 3D-Modell (2.Scann, Alf liegend)



Abbildung 28: Alf-liegend (Foto der 3D-Scanner-Kamera)

Der Scanner zeigt zudem Schwächen bei stark glänzenden Objekten (siehe Abbildung 31, 29). Selbst wenn man die Lichtquellen ein wenig vom Scannobjekt weg bewegt, führt dies zu Störungen im Bild. Das Ausschalten der Lichtquellen führt dazu, dass es für die Aufnahme des Objekte wiederum zu dunkel ist.

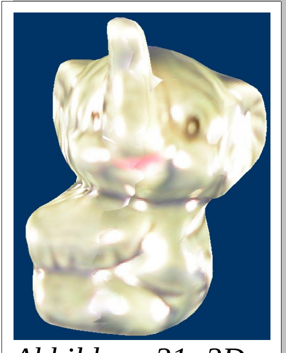


Abbildung 31: 3D Objekt Elefant mit Reflexionen



Abbildung 29: 3D-Objekt Mandarine mit glänzenden Flächen

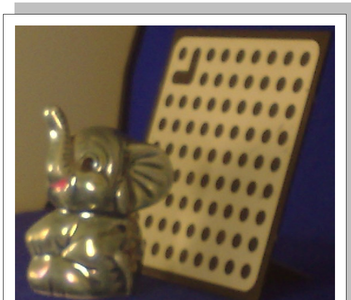


Abbildung 30: Foto des Elefanten mit Kalibrierungsmuster

Ein weiteres Problem sind dünne, feine vom Objekt abstehende Linien, die das Scannsystem nicht ins Modell modellierte. So wurden die Fühler der Maus (siehe Foto 32) nicht in das 3D-Modell der Maus (Abbildung 33) übertragen.



Abbildung 32: Foto der Maus



Abbildung 33: 3D-Objekt Maus

Des Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass Objekte aus Glas (siehe Foto 35), also in der Realität transparent sind, als 3D-Objekt keine Transparenz besitzen, sondern die Fläche erfasst wird und mit einer farbigen Textur, die nicht transparent ist, überzogen wird. Da normales Glas durchsichtig ist, schimmert natürlich der Hintergrund durch, d.h. die Fotos der Objektaufnahme nehmen Farbanteile des durchschimmerten Hintergrundes mit auf. Dies kann auch wieder zu Segmentierungsfehlern führen. Die bereits unter Kapitel 1.7.9 beschriebene Vorgehensweise kann dem entgegenwirken, jedoch ist der Hintergrund immer noch im 3D-Objekt enthalten. Eine Möglichkeit ist, die Objektaufnahme-Bilder per Hand zu bearbeiten, was sehr aufwendig wäre. Eine andere Variante wäre, mit anderen Nachbearbeitungstools (z.B. Merlin oder Lightwave Moduler) andere Texturen auf das Objekt zu mappen, was natürlich zum Verlust von der realistischen Textur führt. Führt man keine Änderungen der Textur durch und wurden die Segmentierungsfehler beseitigt, so schimmert der blaue Hintergrund (siehe Abbildung 34, Abbildung 36) durch.



Abbildung 34: 3D-Objekt Glasbehälter



Abbildung 35: Foto des Glasbehälters



Abbildung 36: 3D-Objekt Glasbehälter

1.7.10.2 Sonstige Objektaufnahmen modelliert als 3D-Objekt

Unter diesem Abschnitt sind noch weitere Scanns zu begutachten, die im Rahmen der Ausarbeitung gescannt wurden.



Abbildung 38: 3D-Objekt Huhn



Abbildung 39: 3D-Objekt Delfin



Abbildung 37: 3D-Objekt Stein

Die 3D-Objekte der Abbildungen 38,39,37 verfasst das Scannsystem relativ gut. Bei den Objekten 39 und 37 wurden ordnungsgemäß auch die Löcher erkannt und diese ausgehöhlt.

1.8 Nachbearbeitungstool Merlin (Hinweis: größtenteils nicht anwendbar)

Das Nachbearbeiten mit der Scanbull-Software „Merlin“ war jedoch im CAE-Labor so gut wie NICHT durchführbar, da viele Aktionen der Objektbearbeitsungsvorgänge zum Absturz der Applikation führten (siehe Abbildung 40). Nach Informationen auch aus der Software, sowie dem Merlin-Handbuch (Lit2) sollten folgende Möglichkeiten mit der Software durchführbar sein (siehe 1.8.1).

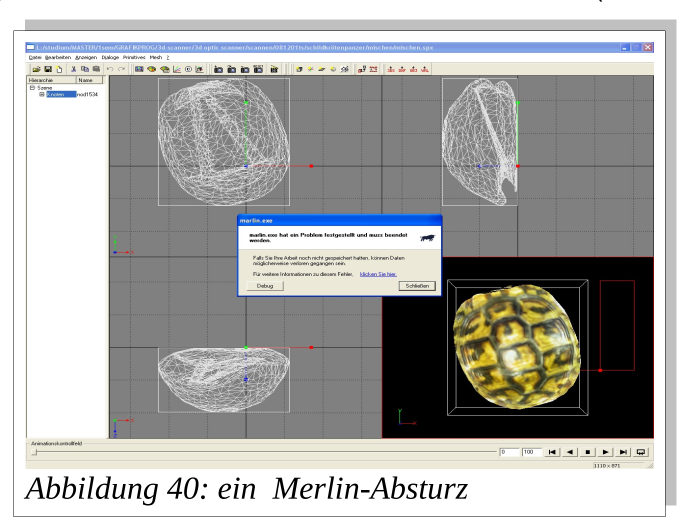


Abbildung 40: ein Merlin-Absturz

1.8.1 Möglichkeiten der Nachbearbeitungssoftware

Als Möglichkeiten der Objektnachbearbeitung bietet Merlin an, u.a. die Texturen des Objektes zu exportieren. Die Objekttexturen werden dann in Form einer BMP-Datei abgelegt (Abbildung 41). Diese Datei kann dann anschließend mit einem externen Grafikprogramm, z.B. Adobe Photoshop oder Gimp bearbeitet werden. So kann im externen Grafikprogramm z.B. zu hell glänzende Flächen nachbearbeitet werden, indem Teilbereiche der Textur kopiert werden, über die hellen Flächen eingefügt werden und anschließend mit der Wischfingerfunktion (z.B. in Photoshop oder Gimp) verwischt werden. Des Weiteren können auch Farbänderungen durchgeführt werden.



Abbildung 41: Exportierte original Textur der Mandarine



Abbildung 42: Bearbeitete Textur der Mandarine

Die bearbeitete Texturdatei (Abbildung 42) lässt sich anschließend wieder über die Merlinsoftware laden. Nun kann das 3D-Objekt wieder als „.spx“, „.3ds“ oder einer sonstigen unterstützten Format abgespeichert werden. Dadurch kann man über das Abändern der Textdatei die Textur des Objektes verändern. Aufgrund dessen können natürlich Verbesserungen als auch Verschlechterungen (durch Verwischen unscharf) entstehen. Diesbezüglich vergleiche Abbildung 43 und Abbildung 44. Wie bereits beschrieben (Abschnitt 1.7.9) , wäre dies auch bei der normalen Scannsoftware möglich gewesen, dort jedoch müssen alle für die Texturierung verwendeten Objekterfassungsdateien abgeändert werden.



Abbildung 43: 3D-Objekt Mandarine (original Textur)



Abbildung 44: 3D-Objekt Mandarine (geänderte Textur)

Weitere Möglichkeiten:

- Weitere Möglichkeiten von Merlin, ist das Durchführen einer Abänderung der Farbwerte, sollte die Farbe des 3D-Modells stark von dem des Originals abweichen. Dies kann z.B. auftreten, wenn der Weißabgleich der Kamera nicht richtig eingestellt gewesen war.

- Merlin bietet die Möglichkeit zum Bemalen der Textur des 3D Objektes (recht primitiv). Dabei können auch Elemente aus externen BMP- und JPG-Dateien aufgebracht werden

- Definieren der Materialfarbe, dies kann auch Reflexion und Transparenz berücksichtigen. Wirkt sich nur aus, wenn das Objekt keine Textur hat.

- Rotieren, Skalieren, Bewegen des 3D-Modells

- Erstellen einer Viewpoint-Animation (Kamera-Schwenk über das 3D-Modell, aus definierten Kamerapositionen)

- Hinzufügen von Labels und Aktionen zum 3D-Modell (beim SPX-Modell), dies bietet sich an, falls das Objekt auf eine Internetseite eingebunden wird. Die Aktionen sind: Hinweistexte, Hyperlinks, Viewpointanimationen, Sichtbarkeitstransformationen

- und einige andere nicht genannte Funktionalitäten

1.9 Importieren in Lightwave

Um das gescannte Objekt in Lightwave importieren zu können, ist es notwenig dies in einem Format abzuspeichern, das auch von Lightwave unterstützt wird. Die Scanbullsoftware ist in der Lage, das 3D-Modell im „3DS“-Format abzuspeichern. Dieses kann im Layouter und auch im Modeler importiert werden.

1.10 Vor- und Nachteile des Optischen Foto-Scanners

Optischer Scanner	
Vorteile	**Nachteile**
- Das Erfassungsprozess eines Objektes geschieht relativ schnell	- Vereinigung mehrerer Scanns benötigt viel Zeit (hohe Rechenleistung notwendig, siehe Kapitel 1.7.8)
- Die Form des 3D-Objektes wird meist realistisch erzeugt (siehe Kapitel 1.7.5)	- Nachbearbeitungssoftware „Merlin“ läuft sehr instabil (siehe Kapitel 1.8)
- Es werden automatisiert die Texturen des realen Objektes übernommen (siehe Kapitel 1.7.6)	- Probleme mit konkaven Gegenständen (siehe Kapitel 1.7.5 und 1.7.10.1)
- Exportmöglichkeit zu den gängigsten Formaten, u.a. 3D Studio, welches von Lightwave 3D importiert werden kann (siehe Kapitel 1.7.9, 1.9)	- Spiegelnde Gegenstände bereiten Schwierigkeiten (siehe Kapitel 1.7.10.1)
- Alle Scannzwischenschritte werden als seperate Bilddateien abgelegt, die manuell mit Hilfe eines externen Grafikprogrammes wie Adobe Photoshop oder Gimp nachbearbeitet werden können (siehe Kapitel 1.7.9)	- Objekte, die Farbanteile des Scannerhintergrundes besitzen oder komplett aus dieser Farbe bestehen, können nur bedingt eingescannt werden (siehe 1.7.4 und 1.7.10.1)
- Automatisierte Vereinigung zweier Scanns zur Rundum-Ansicht (siehe Kapitel 1.7.7, 1.7.8, 1.7.8.1)	- Bei Glasobjekten schimmert der Hintergrund durch (siehe 1.7.10.1)
- kleine Scannsystembauart	- Dünne vom Objekt weggehende Linien wurden nicht erkannt (Mausbeispiel – Kapitel 1.7.10.1)

1.11 Verwendete Tools

- Scanbull Scanner
- Nokia N95 für sonstige Fotos / Video
- Scanbull ScanBook Software, Merlin-Software
- Adobe Photoshop, Gimp
- Open Office 3.0
- Lightwave 3D
- Adobe Premiere

1.12 Literatur

[Lit1] Scan Bull - Handbuch ScanWare 3.3

[Lit2] Merlin Benutzerhandbuch

[Lit3] Leitfaden zur Grundlagen und Anwendungen der optischen 3-D-Messtechnik, Fraunhofer Allianz Vision

[Lit4] Leitfaden zur optischen 3-D-Messtechnik

[Lit5] c't 3/1999 - Virtuelle Pirouette, heise Verlag

[Lit6] c't 3/2000 - Klappe auf 3D-Volumenschnitt-Scanner... , heise Verlag

[Lit7] c't 7/2007, heise - Werkstücke in 3D-Daten wandeln

Weblinks

[Weblink 1] http://www.heise.de/jobs/Scanbull-produziert-Scanner-auf-Bochumer-Nokia-Gelaende--/news/meldung/114090
Abrufdatum: 01.12.2008

[Weblink 2] http://www.heise.de/newsticker/3D-Scan-Technik-fuer-unterwegs--/meldung/116402
Abrufdatum: 01.12.2008

[Weblink 3] http://www.scanbull.de
Abrufdatum: 01.12.2008

[Weblink 3a] http://www.scanbull.de/web/pdf/scanware.pdf
Abrufdatum: 01.12.2008

[Weblink 4] http://www.sci-script.de/3D_Info.html
Abrufdatum 01.12.2008

[Weblink 5] http://iphome.hhi.de/eisert/papers/fktg2006.pdf
Abrufdatum 02.12.2008

[Weblink 6] http://www.scanbull.de/web/start.php
Abrufdatum: 01.12.2008

[Weblink 7] http://de.wikipedia.org/wiki/Triangulation_(Messtechnik)

2 Laserscanner

Das zweite Kapitel dieser Ausarbeitung befasst sich mit dem aktiven Scannverfahren des 3D Laserscanners von Roland Typbezeichnung LPX-250 sowie der alternativen Software David Laserscanner[1]. In dem ersten Teil sollen die Grundlagen von 3D Laserscanner betrachtet werden. Im zweiten Teil die Arbeitsweisen der beiden Laserscanner. Darauf folgt ein Praktischer Teil, der die Entstehung eines 3D Objektes beschreibt.

2.1 Grundlagen des Laserscanning

Lasersanning (zu deutsch Laserabtastung) bezeichnet einen Vorgang, der Objekte beliebiger Größe, in ein digitales Raster wandelt. Ein Laserscanner besteht aus zwei grundlegenden Elementen: Aus dem Laser, der auch als Emitter bezeichnet wird, und aus dem Detektor (Kamera). Dabei empfängt der Detektor das von dem zu scannenden Objekt reflektierte Laserlicht. Das ganze Verfahren zum Erfassen des Objektes basiert auf dem mathematischen Prinzip der Triangulation. Der Laser, der Detektor und das Objekt, beziehungsweise der Punkt auf den der Laserstrahl trifft, bilden das sogenannte Triangulationsdreieck.

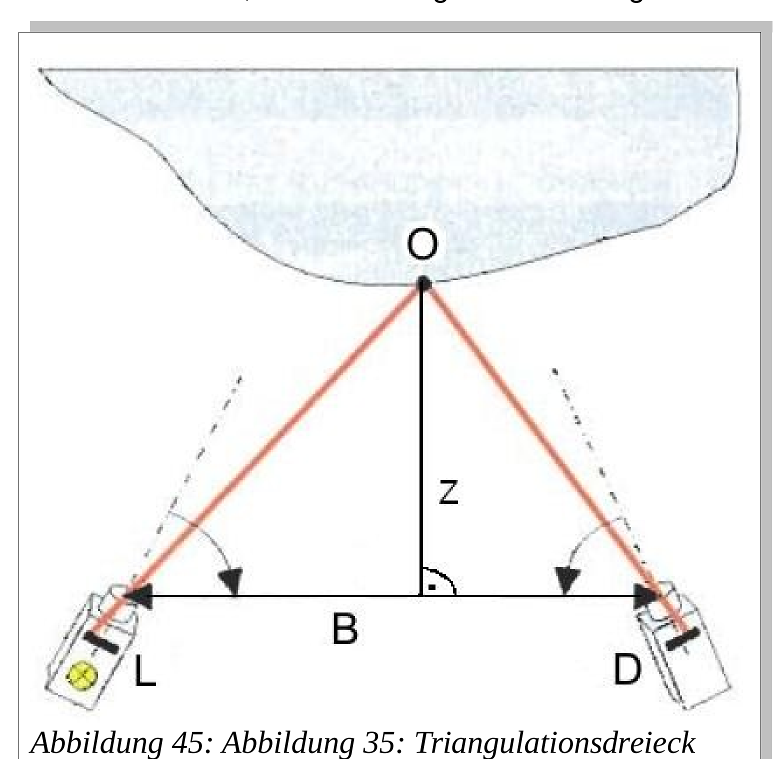


Abbildung 45: Abbildung 35: Triangulationsdreieck aus Laser (L), Detektor (D) und Objekt (O) Abstand zum Objekt (Z) Quelle: [Lit_1]

1 http://www.david-laserscanner.com/

Der Laser (L) projiziert einen Lichtpunkt auf das Objekt (O). Der Auftreffpunkt des Laserstrahls wird von dem Objekt reflektiert. Der so abgeleitete Laserstrahl wird von dem Detektor (D) erfasst. Der Abstand zwischen dem Laser und dem Detektor wird als Basisbreite (B) bezeichnet. Ist dieser Wert bekannt, so wie der Winkel α zwischen dem Laserstrahl und der Basis, benötigt man den Winkel β zwischen Detektor und Basis. Das Bild 46 veranschaulicht die zuvor beschreibene Theorie der Triangulationsmethode.

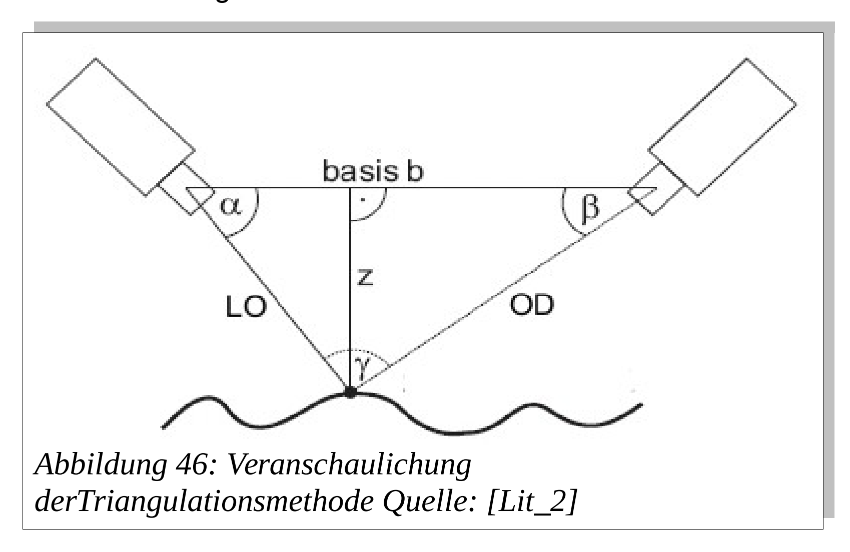


Abbildung 46: Veranschaulichung derTriangulationsmethode Quelle: [Lit_2]

Daraus ergibt sich zur Berechnung des Abstandes „z" des Objekts zur Basislinie folgenden Formel:

$$z = \frac{b \sin(\alpha) \sin(\beta)}{\sin \gamma}$$

Auf Basis dieser Formel arbeiten alle gängigen Methoden zur Dreidimensionalen Erfassung. Mit zunehmendem Winkel zwischen Laser und Kamera steigt die Messgenauigkeit. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass bei einem großen Winkel γ, bei nicht ebenen Objekten, größere Objektbereiche nicht erfasst werden können. Hier ist ein Kompromiss zu finden. Dieser liegt in der Praxis bei einem Winkelgrad für γ von 25° bis 45°. Der Zusammenhang zwischen Beobachtungswinkel und Messauflösung ist für alle auf dem Triangulationsprinzip beruhenden Verfahren typisch.

Sowohl der Laserscanner LPX-250 der Firma Roland, als auch der David-Laserscanner arbeiten auf Basis der Triangulationsmethode, wobei letzteres System eine Erweiterung der Methode (Lichtschnitt) verwendet. Die als Lichtschnitt-

verfahren bezeichnete Methode arbeitet hierbei nicht mit einem einzelnen Lichtpunkt, sondern mit einer Lichtlinie die auf das zu erfassende Objekt projiziert wird, siehe Bild 47.
Der Detektor (Kamera) erfasst den Lichtschnitt und die Software errechnet alle Punkte die auf dieser Linie liegen. Diese Methode bedeutet einen erheblichen Zeitvorteil für die Digitalisierung eines Objektes. Wie bei der einfachen Triangulationsmethode muss auch bei dem Lichtschnittverfahren entweder das zu digitalisierende Objekt gedreht werden oder der Laser in Kombination mit dem Detektor um das zu erfassenden Objekt gefahren werden. Durch die projizierte Linie ist der Detektor (Kamera) in der Lage eine Hell-Dunkel Grenze zu erfassen und kann so alle Objektkoordinaten berechnen, die auf dieser sogenannten Lichtebene liegen. Das nachfolgende Bild zeigt eine schematische Darstellung des Lichtschnittverfahrens.

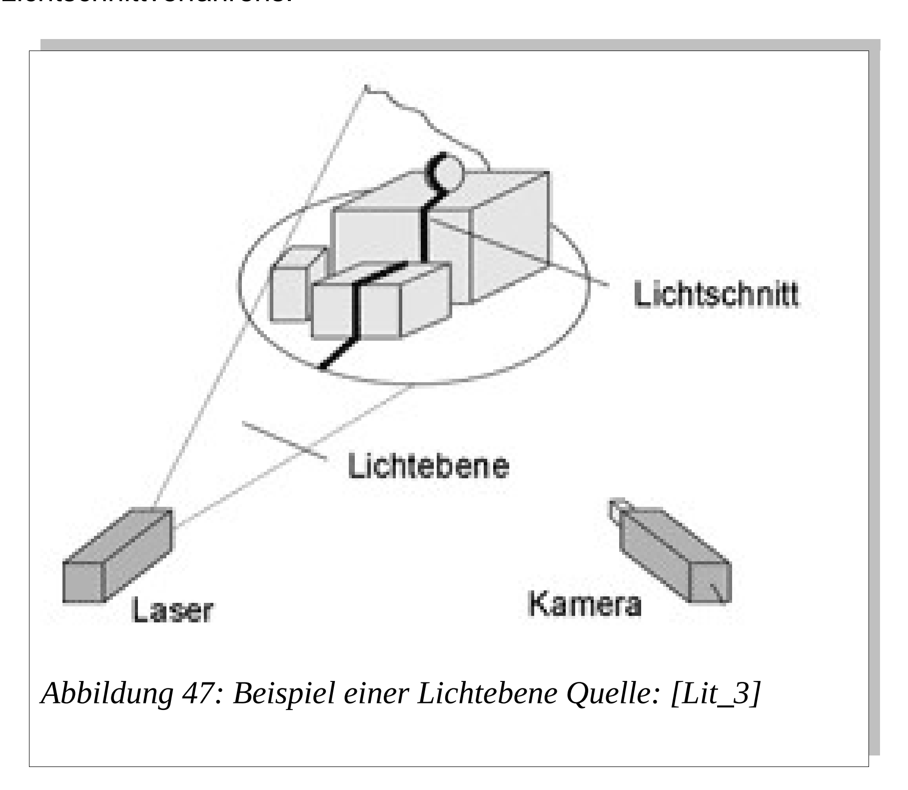


Abbildung 47: Beispiel einer Lichtebene Quelle: [Lit_3]

2.2 Arbeitsweise des Roland LPX-250

Der Roland LPX-250 arbeitet auf Basis der einfachen Triangulationsmethode. Dabei wird die Objektoberfläche in regelmäßigen Abständen abgetastet und die einzelnen Punktkoordinaten zu Polygonen verbunden. Das Objekt befindet sich hierbei auf einem Drehteller und wird so an dem Laser vorbei geführt. Nach einer vollen Umdrehung, vorerst soll diese Annahme ausreichen, wird der Laserkopf und der Detektor, im weiteren Scannkopf genannt, um eine Höheneinheit nach oben verschoben. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt bis das Objekt bzw. der definierte Scannbereich einmal vollständig erfasst wurde.
Bei der Positionierung des Objektes sollte man darauf achten, dass dieses sich immer im Zentrum des Drehtellers befindet, siehe Bild 48. Einzigste Ausnahme ist der Scann einer Ebene, hierbei sollte das Objekt so nahe wie möglich an den Laser positioniert werden.

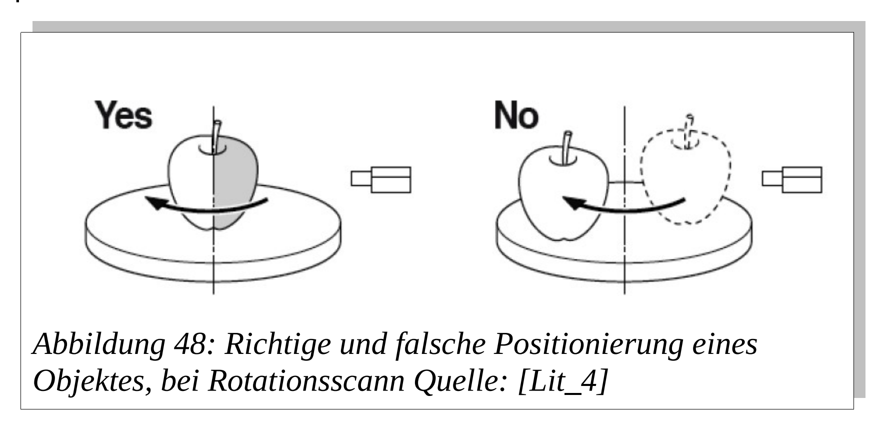


Abbildung 48: Richtige und falsche Positionierung eines Objektes, bei Rotationsscann Quelle: [Lit_4]

Neben der Positionierung ist auch die Oberflächenbeschaffenheit eines Objektes von Bedeutung. Das Ergebnis der Digitalisierung variiert je nach Art der Materialien aus dem das Objekt besteht. Transparente Objekte aus Glas oder Plastik reflektieren das Laserlicht nicht, bzw. ist das reflektierte Laserlicht nicht stark genug um einen exakten Positionswert errechnen zu können.
Bei Objekten mit einer Art Fell- oder Stoffstruktur verhält es sich so, dass der Laserstrahl stark gestreut wird und somit nicht genügend Licht reflektiert, welches vom Detektor erfasst werden kann.
Glänzende Objekte, wie Spiegel oder poliertes Metall, reflektieren den Laser in eine Richtung die nicht mehr vom Detektor korrekt erfasst werden kann.
Umgekehrt verhält es sich bei dunklen Objekten (schwarz, dunkelblau oder -grün). Diese Oberflächen verschlucken das Laserlicht, wodurch nicht genügend Reflexion statt findet.

Weitere Probleme bei der Erfassung entstehen, wenn der Einfallswinkel des Lasers kleiner als 20° ist, denn dann wird der Laserstrahl in eine falsche Richtung reflektiert. Ebenso kann der Laser keine Flächen digitalisieren, die verdeckt bzw. nicht erfassbar sind. Die folgenden zwei Bilder veranschaulichen dieses Problem.

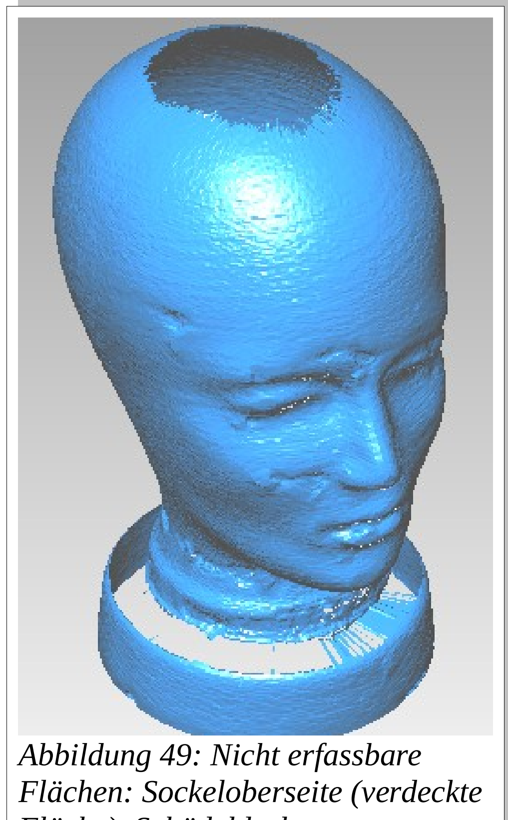


Abbildung 49: Nicht erfassbare Flächen: Sockeloberseite (verdeckte Fläche), Schädeldeck (Einfallswinkel kleiner als 20°)

Abbildung 50: Einfallswinkel kleiner als 20° Quelle: [Lit_4]

2.2.1 Art des Scannverfahren

Bei dem LPX-250 kann man zwischen zwei verschiedenen Arten der Laserabtastung wählen, dem sogenannten Rotationscann oder dem Planescann. Beide Verfahren lassen sich für jegliche Art von Objekten anwenden. Natürlich haben beiden Varianten ihre Vor- und Nachteile. Im folgenden sollen die beiden Scannverfahren betrachtet werden, die über die Software Dr.Pixza3.0 zu Verfügung stehen.

Bei dem Rotationscann führt der Drehteller eine volle 360° Umdrehung durch und führt so eine Ebene des Objektes an dem Laser vorbei. Danach wird der Scannkopf um eine Höheneinheit versetzt. In dem entsprechenden Menü las-

sen sich die Optionen für die Höhenunterteilung vornehmen, die kleinstmögliche Unterteilung in Höhe beträgt 0,2mm. Desweiteren kann der Umfang des Objektes in bis zu 0.2 Grad unterteilt werden. Das heißt, dass auf eine 360° Umdrehung 1800 „Messpunkt“ auf das Objekt gesetzt werden. Bevor man einen Scann startet ist es von Vorteil vorher eine Vorschau zu erstellen. Dabei erstellt die Software eine Grobdarstellung des Objektes und begrenzt den zu erfassenden Bereich in der Höhe. Gerade bei einer hohen Auflösung ist die Zeitdauer des Scannvorgangs extrem lang. Das Folgende Bild zeigt das Menü der Pixza Software für einen Rotationsscann.

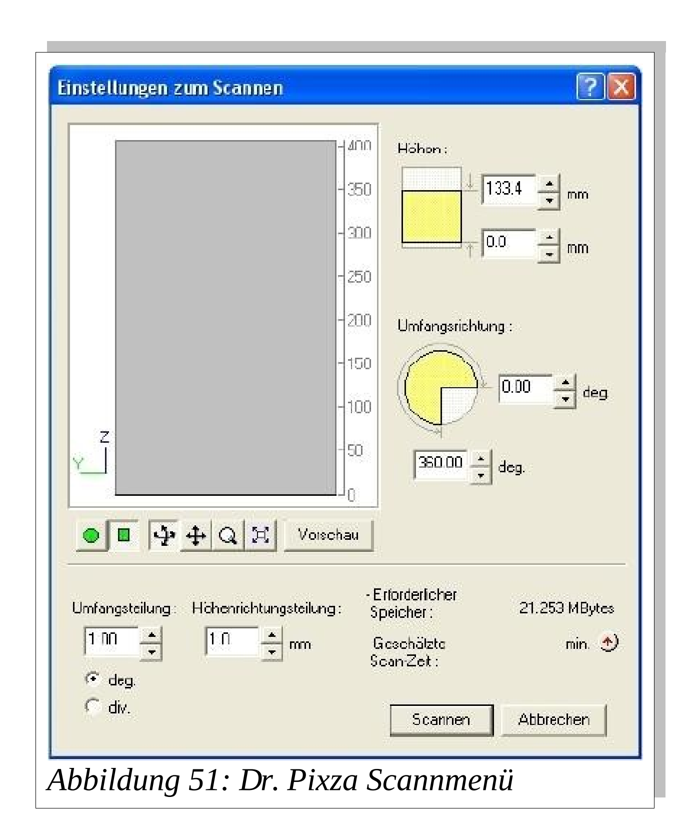


Abbildung 51: Dr. Pixza Scannmenü

Der Ebenenscann (Planescann) unterscheidet sich zum Rotationsscann dahingehend, das der Drehteller keine 360° Umdrehung vollführt sondern nur um einen gewissen Winkelgrad gedreht wird. Ein Planescann lässt sich in ein bis sechs Ebenen unterteilen um ein Objekt zu erfassen. Dabei wird nach jedem Dreh des Tellers die Scanneinheit um eine Höheneinheit verschoben. Nach dem die erste Ebene erfasst wurde, wird die gleiche Prozedur für eventuell weitere Ebenen durchgeführt.

Wie bereits erwähnt, haben beide Scannarten ihre Vor- und Nachteile. Der Vorteil eines Planescanns besteht darin, das Objekte mit Löchern, Hohlräumen, Vertiefungen und ähnlichem, leichter digitalisiert werden können. Der Nachteil eines Ebenenscanns ist, das diese Art der Digitalisierung einen größeren Zeitaufwand fordert.

Nach dem der Scannvorgang beendet ist, liefert die Software das Resultat. Während der Abtastung des Objektes sieht man dem Fortschritt es Scannvorganges. Bild 52 zeigt das Ergebnis der Digitalisierung eines Steines mit einem Loch.

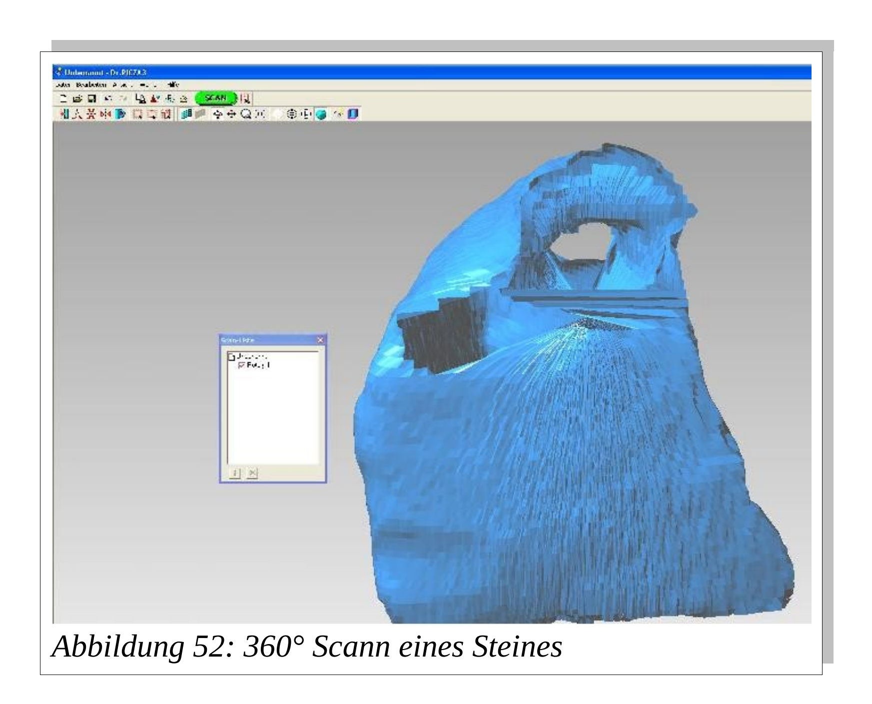


Abbildung 52: 360° Scann eines Steines

Wie in Abbildung 52 ersichtlich, trat bei der Abtastung des Steines durch den Scanner ein Fehler auf, indem an einer Stelle die Fläche nicht exakt erkannt wurde. Um diesen Fehler zu beheben, besteht die Möglichkeit einen weiteren Rotate- oder Planescann auf das Objekt anzuwenden. Wie aus dem Bild 53 zu entnehmen ist klickt man auf den „Neuscann-Button", und wählt das geeignete Scannverfahren aus. Vorher muss das 3D-Objekt jedoch so in Position gedreht werden, dass der neu zu erfassende Bereich auf dem Monitor zu sehen ist. Die Tastenkombination Leerzeichentaste + linke Maustaste dient dazu, dass 3D-Objekt in die gewünschte Position zu bringen. Durch eine Bewegung der Maus nach links oder rechts, dreht sich das 3D-Objekt in die entsprechende Richtung. Die Ausrichtung des Objektes ist nur dann nötig wenn ein Ebenenscann durchgeführt werden soll. Durch die Positionierung am Monitor wird

das Objekt im Laserscanner in die entsprechende Position gedreht.



Abbildung 53: Menü des Neuscann Button

Mit gedrückter Linker-Maustaste definiert man den erneut zu scannenden Bereich, siehe Bild 54. Nach dem diese Schritte gemacht wurden, wählt man wiederum den Scann-Button und konfiguriert die Scann Optionen wie gewohnt und definiert die Höhen- und Umfangsunterteilungen.

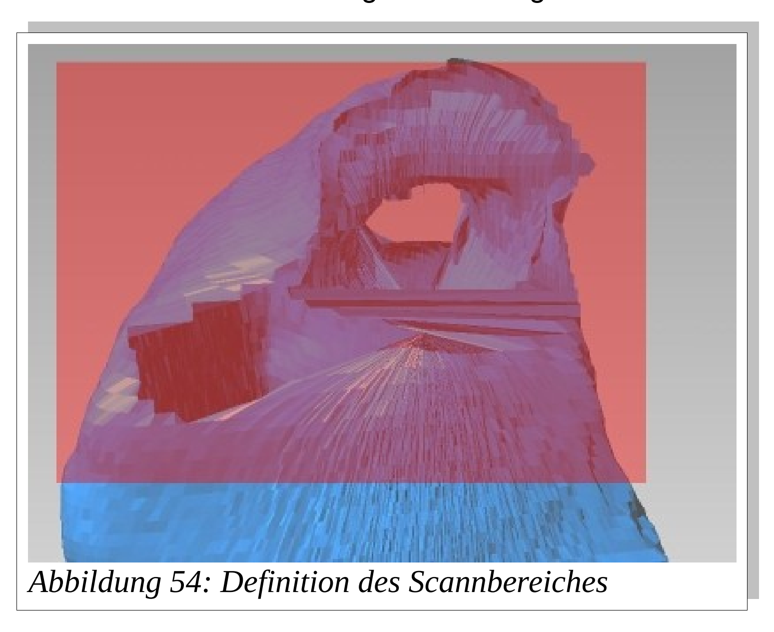


Abbildung 54: Definition des Scannbereiches

Das beschriebene Vorgehen eignet sich auch für eine Detailgenauere Erfassung um einzelne Bereiche exakter zu digitalisieren als die übrigen Flächen des Objektes.

Bei den meisten zu digitalisierenden Objekten ist es nicht möglich diese in einem Scannvorgang zu erfassen. Das kann unterschiedliche Gründe haben. Zum einen bestehen die meisten Objekte aus mehreren Flächen, die nicht auf einmal erfasst werden können wie z.B Draufsicht Unteransicht, oder wie bereits erwähnt, der Einfallswinkel des Lasers ist zu klein. Das folgende Bild zeigt einen 360° Scann einer Vase, deren Form einer zerdrückten Dose entspricht.

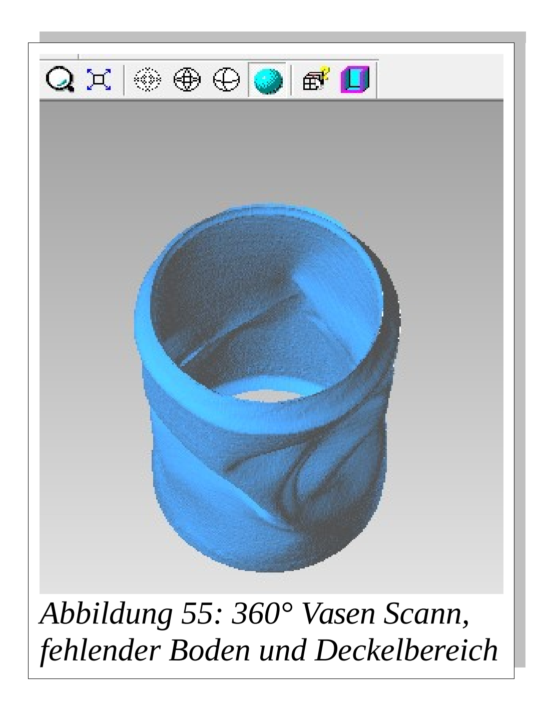


Abbildung 55: 360° Vasen Scann, fehlender Boden und Deckelbereich

Um dennoch ein mehrflächiges Objekte ganz zu erfassen, scannt man diese aus unterschiedlichen Positionen. Dafür platziert man das Objekt in verschiedenen Positionen so auf dem Drehteller, dass alle Flächen des Objektes abgetastet werden können. Im Fall der Vase ist das Erfassen des Bodens und des Deckels erforderlich.



Abbildung 57: Plane-Scann: Boden



Abbildung 56: Plane-Scann: Deckel

Um nun die einzelnen Dateien zu einem Objekt zusammen zu führen, steht die Software Pixform zu Verfügung.
Um das digitalisierte Objekt in Pixform bearbeiten zu können ist eine Exportierung der Daten in das PIX-Format nötig.

Für die weitere Arbeit und das Zusammenfügen einzelner Scanns mit der Software Pixform möchte ich auf das PDF „3D-Laserscanner“[2] verweisen. Ab Seite 19 ff. wird die Vorgehensweise beschrieben. Ebenso ist die weitere Vorgehensweise beschrieben, um das zusammengefügte Objekt in ein passende Lightwave-Format (lwo) zu exportieren.

2.2.2 Technische Daten des LPX-250 Scanners

Durchmesser Drehteller	254mm (10inc)
Max. Scannbereich	**Rotary scanning:** Diameter 254 mm (10 in.), height 406.4 mm (16 in.) **Plane scanning:** Width 230 mm (9 in.), height 406.4 mm (16 in.)
Scannschritte	**Rotary scanning:** circumference 0.2 to 60 degrees, height direction 0.2 to 406.4 mm **Plane scanning:** width direction 0.2 to 230 mm, height direction 0.2 to 406.4 mm
Max.Objektgewicht	5kg
Laser	Wavelength: 600 to 700nm, maximun output: less than 1.0 mW (maximum output discharged outside housing is 0.39 µs), pulse width: 350µs, pulse frequency: 2,857 Hz
Sensor	Berührungslos
Scannmethode	Punkt-Triangulation
Motorenleistung	Table rotation speed: 15 rpm, head rotation speed: 7.5 rpm, head movement speed: 50 mm/sec.

2 PDF liegt der CD (Laserscanner Literatur)bei ist aber auch über die CAE-Laborseiten der HS Fulda abrufbar

2.3 Allgemeine Informationen zum David-Laserscanner

Bei dem David-Laserscanner[3] handelt es sich nicht um ein Scannsystem im herkömmlichen Sinne, die eine abgestimmte Kombination aus Hard- und Software darstellt. Das Ziel welches mit dem David Laserscanner verfolgt wird ist es, eine kostengünstigere und dennoch effiziente Lösung zu bieten, um so eine Alternative zu den teureren auf dem Markt verfügbaren Systemen zu haben. Als Komponenten des Scannkopfes sollte eine günstige Kamera z.B. Webcam und ein Laser der eine Lichtlinie erzeugt ausreichen. Im Kombination der zu Verfügung gestellten Software sollten gute 3-D Modelle zu erstellt sein. Aus dieser Idee heraus entstand auch der Name David, wie der Webseite zu entnehmen ist: „Es ist einfach nur der Name für eine kleine, aber mächtige Software zwischen all den Goliaths...“

Neben der kostengünstigen Software (die David-Laserscann Software ist Freeware[4]) war wie bereits erwähnt das Ziel, die Hardware so günstig wie möglich zu halten, was dem Entwicklerteam auch gelungen ist. Als Kamera reicht schon eine günstige Webcam und als Lichtquelle eignet sich alles was eine sehr dünne und kräftige Lichtebene erzeugt. Zu Letzt benötigt man noch einen Kalibrierkörper, der zur Kalibrierung der Kamera dient und bei einem Scannvorgang als Hintergrund. Das Muster des Kalibrierkörpers liegt der Installationssoftware bei, die man über die Webseite beziehen kann. Dieses Muster besteht aus einem linken und einem rechten Teil. Nach dem ausdrucken des Kalibrierkörper, den es in den Größen DIN A4 bis DIN A1 gibt, befestigt man diesen auf eine entprechend große, ebene Fläche. Diese beiden Flächen müssen exakt im 90° Winkel zueinander positioniert sein. Sind diese Vorbereitungen getroffen, kann mit dem abtasten des Objektes begonnen werden. In den folgenden Kapiteln wird die Arbeitsweise, die Kalibrierung sowie die Handhabung der Software aufgezeigt.

2.3.1 Arbeitsweise des David Laserscanner

Der Scanner arbeitet nach dem bekannten Prinzip des Lichtschnittverfahrens. Nachdem die Kamera kalibriert wurde, kann das Objekt vor dem Kalibrierungskörper positioniert werden. Mit der Erfassung kann begonnen werden. Dazu führt man die Laserlinie mehrmals über das Objekt. Die Geschwindigkeit in der man die Linie über das Objekt laufen lassen kann, ist abhängig von der Belichtungszeit der Kamera. Ebenso ist darauf zu achten das der Abstand zwischen Kamera und Laser, also der Triangulationswinkel, sehr groß seien soll um eine hohe Formgenauigkeit zu erzielen. Sollte diese oder andere Bedin-

3 http://www.david-laserscanner.com
4 Auf die Besonderheiten der Kostenpflichtigen Pro Version wird später eingegangen (Kapitel 2.5)

gungen nicht erfüllt sein, teilt einem die Software dies mit. Weiter Bedingungen sind:

•Die Laserlinie ist über das gesamte Bild zu sehen

•Der Triangulationswinkel ist nicht groß genug

•Laserlinie muss erkannt werden

2.3.2 Kalibrierung der Kamera

Im ersten Schritt nach dem Starten der Software, muss eine Kalibrierung der Kamera vorgenommen werden. Voraussetzung ist das die Kamera unter Windows korrekt installiert wurde. Die Kalibrierung der Kamera dient dem Zweck, dass die Software des David-Projektes die eingehenden Daten exakt erfasst und verarbeitet. Nach der Sprachwahl öffnet sich das Kalibrierungsmenü, siehe Bild 58.

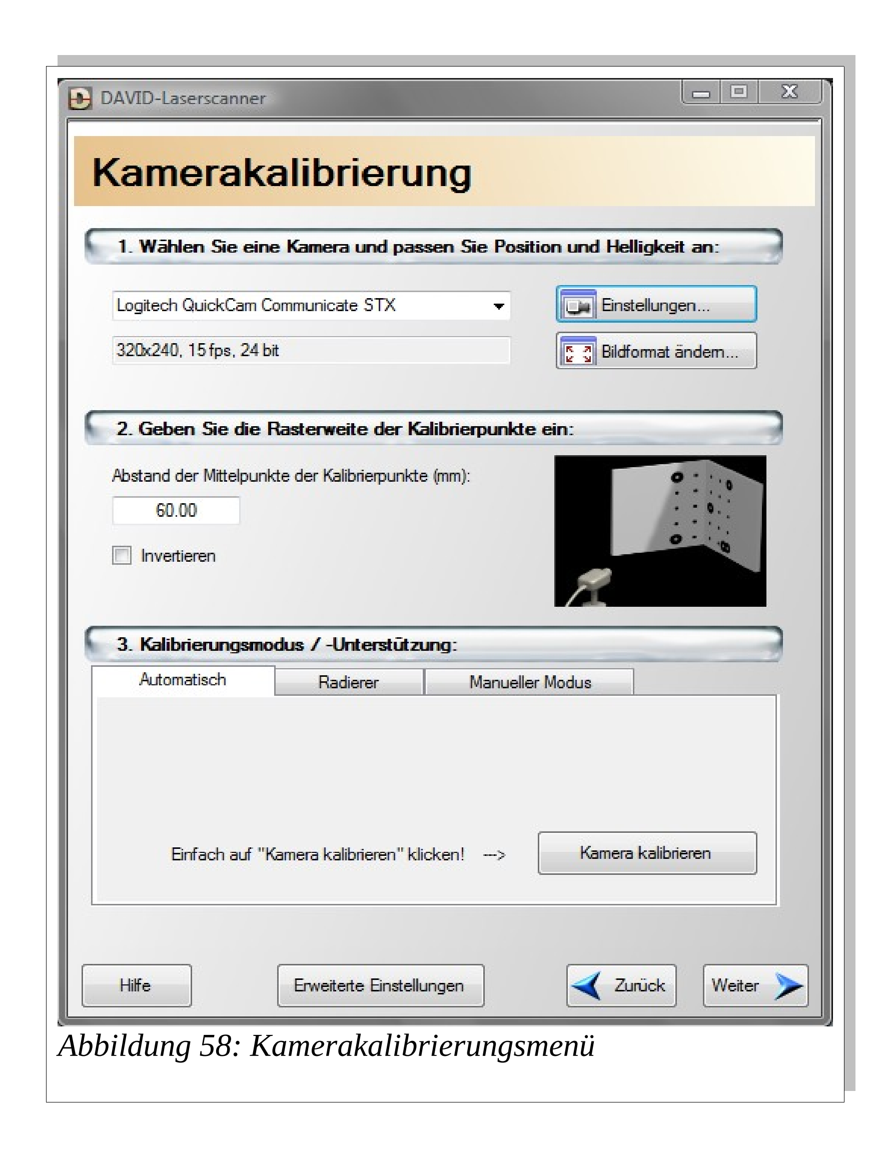


Abbildung 58: Kamerakalibrierungsmenü

Falls mehrere Kameras an den PC angeschlossen wurden, wählt man die entsprechende Kamera aus. Über den Button „Bildinformat ändern“ lässt sich die Ausgabegröße des zu erfassenden Bildes, Einzelbildrate und Farbspektrum definieren. Der Button „Einstellungen“ ermöglicht eine Feinjustierung der Kamera, auf Softwareebene, in den Bereichen Helligkeit, Kontrast, Sättigung und Schärfe. Diese Parameter müssen editiert werden wenn das Objekt nicht deutlich erkennbar ist. Zur Kalibrierung der Software muss das Kalibrierungsmuster in dem Live-Bild der Kamera vollständig zu sehen sein, sieh Bild 59 Es reicht aus das alle Punkte zu sehen sind und der Kalibrierungskörper das gesamte Kamerabild ausfüllt. Auf dem Ausdruck des Kalibrieungsmuster befindet sich eine dünne Linie deren Länge man messen muss. Dieser Wert gibt an wie weit die Punkte aus ihrer Mitte heraus von einander entfernt sind. Diese Angabe ist für eine korrekte Erfassung des Objektes notwendig und muss im zweiten Abschnitt des Kalibrierungsmenüs angegeben werden.

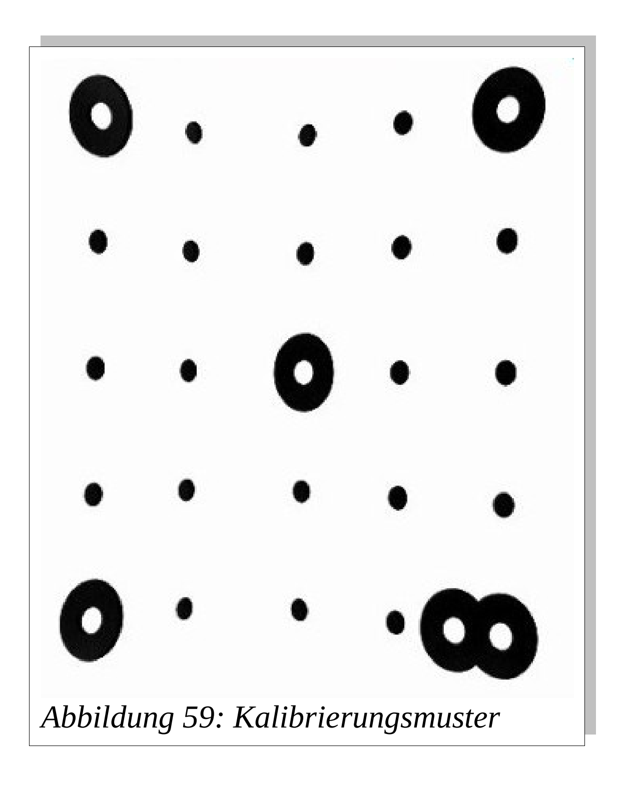


Abbildung 59: Kalibrierungsmuster

Mittels des Button „Kamera kalibrieren“ überprüft die Software ob alle Punkte erkannt wurden. In Ausnahmefällen ist eine Definition des Kalibrierungsbereiches notwendig. In dem Reiter Radierer können falsch erkannte, dunkle Bereiche von der Kalibrierung ausgeschlossen werden. Nach dem die Kalibrierung einmal durchgeführt wurde, darf man die Kamera oder den Kalibrierungskörper nicht mehr bewegen. Sollte dies doch der Fall sein muss eine Neukalibrierung durchgeführt werden.

2.3.3 Objektdigitalisierung mit dem David Laserscanner

Über den „Weiter-Button“ des Konfigurationsmenüs ruft man den Scann-Dialog, siehe Bild 60, der DAVID Software auf. Um ein Objekt zu digitalisieren, positioniert man dieses so nahe wie möglich an dem Kalibrierungskörper und mittig im Kamerabild. An den Rändern des Kamerabildes muss noch die weiße Fläche des Kalibrierungskörpers zu sehen sein, die Musterpunkte müssen dies nicht.



Abbildung 60: David Scann-Dialog

Nach der Platzierung des Objektes, richtet man den Laser in die Szene, um eine letzte Einstellung vorzunehmen. Über den Button „Kameraeinstellungen“, neben der Option „Kamerabild anzeigen“, erreicht man das Konfigurationsmenü der Kamera. In dem Reiter „Geräte Einstellung“ sollte man die Werte Blende, Belichtungszeit, Helligkeit, Kontrast, etc. dahingehend verändern das die Laserlinie klar im Kamerabild zu sehen ist, während das übrige Bild so dunkel wie möglich seien sollte (optimal wäre ein schwarzes Bild). Ebenso sollten alle Automatik-Funktionen der Kamera zur Bildverbesserung, wie automatische Belichtungszeit, Weißbalance, deaktiviert werden.

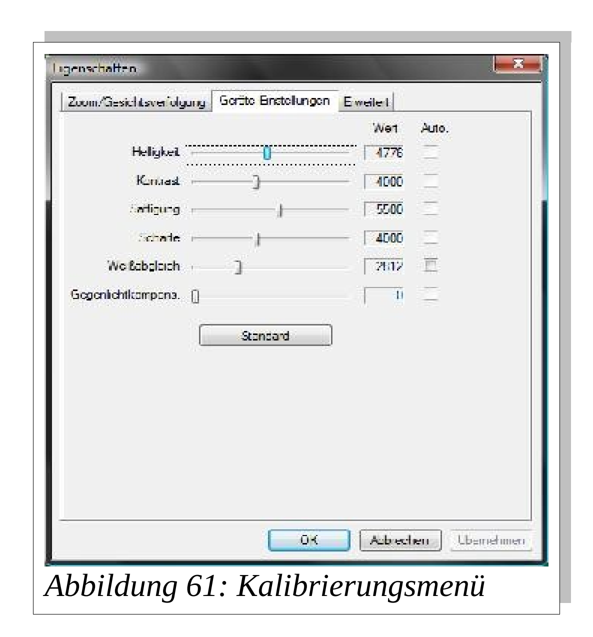


Abbildung 61: Kalibrierungsmenü

Wichtig zur Voreinstellung ist die richtige Farbwahl des Laser. Zur Auswahl stehen neben den Optionen „Grüner-“ oder „Roter Laser“ eine weitere Option „Dünne Schatten Linie“. Mit dieser Option ist es möglich eine helle Lichtquelle auf das Objekt zu richten, welche den Laser ersetzt. Vor der Lichtquelle bewegt man eine dünne Schnur so, dass diese eine Schattenlinie auf das Objekt projiziert. Es ist dabei zu beachten das die Schnur nicht von der Kamera erfasst wird.
Bevor man nun auf den „Start-Button“ klickt um den Scannvorgang zu starten, nimmt man die Laserline aus der Szene.
Nun lässt man die Laserlinie über das Objekt streichen, dabei ist es wichtig das die Bewegungsgeschwindigkeit an die Belichtungszeit der Kamera angepasst ist. Das heißt, bei großer Belichtungszeit eine kleine Bewegungsgeschwindigkeit. Ebenso sollte die “Reduzierte Anzeigehäufigkeit” aktiviert sein. Durch diese Option wird das Fenster “Scann-Ergebnis” nur einmal pro Sekunde aktualisiert, ja nach Hardware (Prozessor, RAM) lässt sich ein Objekt damit schneller scannen.

In dem Fenster „Scann-Ergebnis” erhält man ein Livebild, über die Teile des Objektes, die ausreichend gescannt wurden, bzw. welche Teilbereiche noch einmal “überstrichen” werden müssen. Das 62 ist zeigt das Ergebnis eines Scannvorganges.

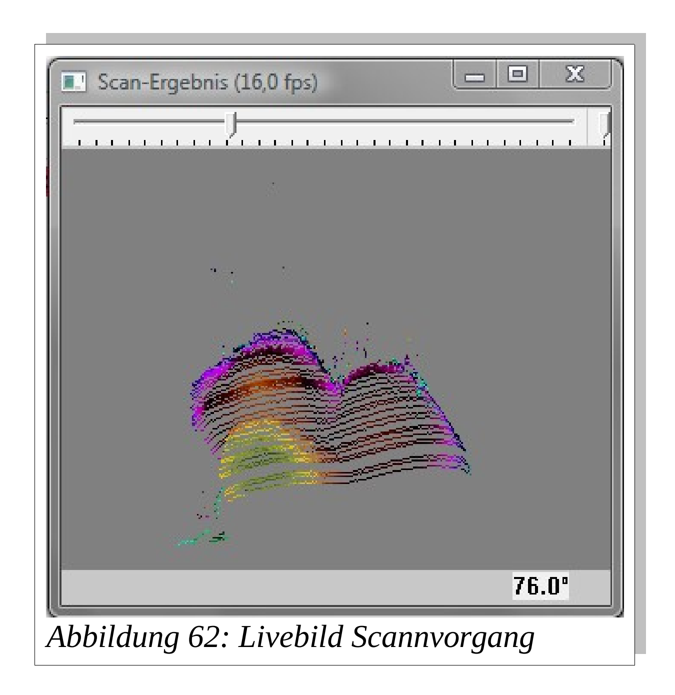


Abbildung 62: Livebild Scannvorgang

Die Farbe der Pixel repräsentieren den Abstand des jeweiligen Oberflächenpunktes zur Kamera. Den genauen Abstand in Millimeter wird im unteren linken Fensterrand angezeigt, wenn man den Mauszeiger über den entsprechenden Punkt bewegt.

Theoretisch kann man ein Objekt so oft scannen wie man will. Die besten Ergebnisse erzielt man, wenn der Laser an einer Position gehalten,und von da aus über das Objekt gestrichen wird. Über den Button „Stop“ wird der Scannvorgang beendet.
Das gescannte Objekt lässt sich in 3D darstellen über den Button “In 3D anzeigen”. Mit der rechten Maustaste kann man das Objekt in dem neuen Fenster drehen, siehe Bild 63. Befindet sich der Mauszeiger außerhalb des weißen Kreises, lässt sich das Objekt um die Blickachse drehen. Mit dem Mausrad kann das Objekt skaliert werden. Über die drei Filterparameter Interpolieren, Average-Glättung, Median-Glättung lässt sich das Scann-Ergebnis verändern, welche direkt im 3D-Fenster zu sehen sind.
Für einen neuen Scann nutzt man den „Löschen“ Button und führt die zuvor beschriebenen Schritte erneut aus.

In dem zweiten Abschnitt des David Scann-Dialog kann man die Textur des Objektes, welches man digitalisiert, über den „Erfassen“-Button festhalten. Das Objekt sollte hierfür entsprechend ausgeleuchtet sein[5]. Über den Button „Kameraeinstellung“ lässt sich diese wieder so konfigurieren das die Texturfar-

5 Hier für eignet sich am besten diffuses Licht

ben erfasst werden können. Texturkoordinaten werden in OBJ-Format gespeichert, um diese auf die Objektoberfläche abzubilden. Um das Objekt mit der Textur in 3D zu betrachten nutzt man den Button „In 3D anzeigen“. Das folgende Bild zeigt eine gescanntes Objekt mit Textur.

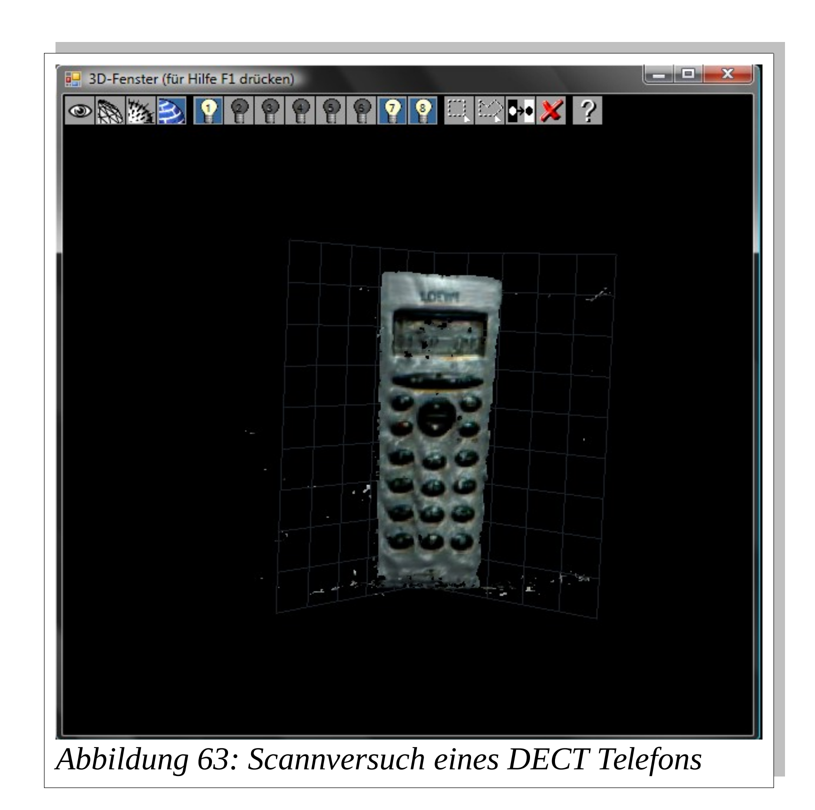


Abbildung 63: Scannversuch eines DECT Telefons

Um ein 360° 3D Modell zu erzeugen, dreht man das Objekt jeweils weiter und führt für diese Ansicht einen erneuten Scann durch. Der Drehwinkel ist hierbei abhängig von der Objektform, im einfachsten Fall reicht ein Drehung um jeweils 90°. Die einzelnen Scanns sollten dabei immer separat gespeichert werden. Nach dem das Objekt aus den entsprechenden Positionen erfasst hat, müssen diese nun richtig kombiniert werden. Dies erfolgt durch den Dialog, der über den „Weiter“ Button erreichbar ist.

2.3.4 Shape Fusion

Der Dialog „Shape Fusion“ ermöglicht die Zusammenfügung mehrere 3D-Scanns eines Objektes. Die aus unterschiedlichen Blickwinkeln, zu einem 360° 3D-Objekt zusammen gesetzt werden sollen. Nicht nur das Zusammenfügen ist in dem Shape Fusion Dialog möglich, ebenso kann man Ausreißer entfernen, die nicht zu dem Objekt gehören. Weitere Funktionen sind die halbautomatische und automatische Oberflächenregistrierung so wie eine Rausch-Reduzierung für die „Struktur Glättung“. Die folgenden Seiten beschreiben die einzelnen Arbeitsschritte um ein 360°-Dreiecknetzes eines Objektes zu erstellen. Das Bild 64 zeigt den „Shape Fusion“ Dialog.

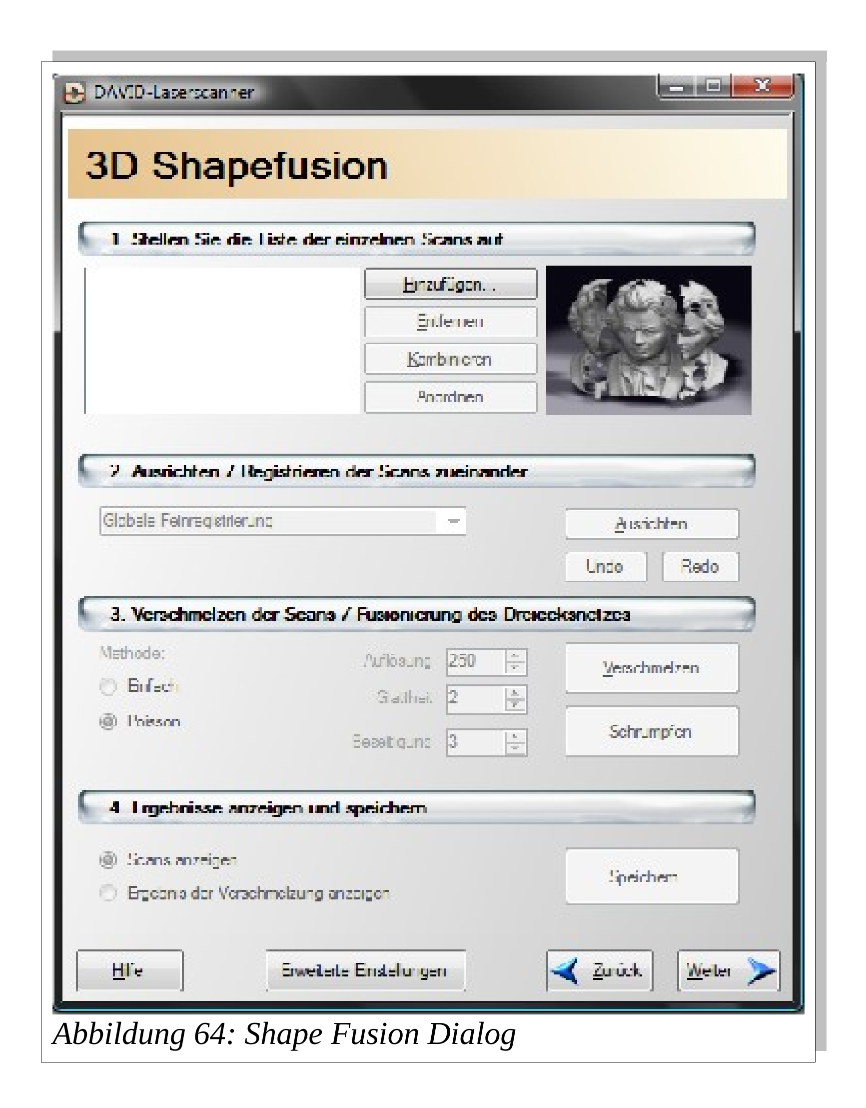


Abbildung 64: Shape Fusion Dialog

Im ersten Schritt müssen ein bis mehrere Scanns des Objektes über den Button „Hinzufügen“ in die Liste aufgenommen werden. Für eine Fusion von Objekten müssen natürlich mindestens zwei Files in der Liste sein.

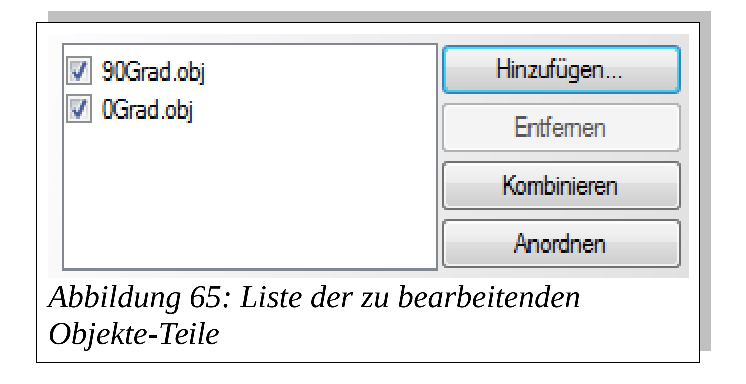


Abbildung 65: Liste der zu bearbeitenden Objekte-Teile

Nach dem das erste Objekt-File in die Liste aufgenommen wurde, öffnet sich das 3D-Fenster. In diesem besteht die Möglichkeit, das 3D-Dreiecknetz per Hand zu säubern, d.h. unerwünschte Oberflächen zu entfernen, wie z.B. Ausreißer oder die mitgescannte Befestigung/Plattform des gescannten Objekts. In dem 3D-Fenster lässt sich das Objekt so um die Blickachsen drehen, sodass man unerwünschte Objektelemente (Ausreißer, Sockel) entfernen kann. Eine Rotation lässt sich mit gedrückter rechter Maustaste vollführen, dazu muss der Mauszeiger innerhalb des weißen Kreises sein. Unerwünschte Elemente lassen sich über die beiden rot umrandeten Buttons selektieren, siehe Bild 66.



Abbildung 66: 3D-Fenster Toolleiste

Mit dem Rechteck-Auswahlmodus lässt sich ein Rechteck variabler Größe zeichnen, indem man die linke Maustaste gedrückt hält. Danach zeichnet man das Rechteck um die zu entfernende Objektfläche.



Abbildung 67: Selektieren von Ausreißern

Der Polygon-Auswahlmodus erlaubt es ungewollte Objektflächen zu entfernen. In diesem Modus klickt man mit der linken Maustaste die Eckpunkte an, um die zu entfernende Oberfläche zu umschließen. Mit der Enter-Taste verlässt man den Modus. Die selektierten Bereiche werden rot eingefärbt und können mit der „Entf"-Taste gelöst werden.
Nach dem dies für alle Einzelfiles des digitalisierten Objektes durchgeführt wurde, folgt nun die Fusion der einzelnen Files. Für eine bessere Übersicht lassen sich mit dem Knopf "Anordnen" die Objekt-Teile nebeneinander ausrichten (Bild 64).

Um die Dateien zu einem 360° 3D-Objekt zusammen zuführen benutzt man den „Ausrichten" Button. In dem sich nun öffnenden Dialog wählt man die entsprechende Operation (Registrierungsmodus) aus, die man paarweise auf die Objekt-Files anwenden möchte. Dabei kann man aus den folgenden sechs Modies wählen:

- Freie Drehung
  Hierbei findet eine grobe Registrierung zwischen zwei Scanns statt. Dabei bestehen keine Beschränkungen bzgl. Rotation oder Translation der Objekte. Die Wiki Seite von David beschreibt die Funktion so: „Die Software sucht dabei nach derjenigen relativen Transformation zwischen zwei Scanns, die eine maximale Kontaktfläche aufweist. Dies funktioniert in den meisten, aber nicht in allen Fällen"
- Rotation nur um die X-Achse / Y-Achse / Z-Achse

  Bei diesen drei Registrierungsmodis, geht die Software davon aus, dass die relative Transformation zwischen den zwei Scanns beschränkt ist. „Der Modus "Rotation nur um die Y-Achse" z.B. nimmt an, dass das Objekt zwischen den zwei Scanns nur um eine Achse gedreht wurde. In diesem Fall parallel zur Y-Achse des Referenz-Koordinatensystems. gedreht wurde und nicht transliert wurde.
- Manuelle Ausrichtung
  Hierbei kann man die einzelnen Scanns frei im Raum bewegen. Dies geschieht durch gedrückt halten der „Strg"-Taste während man einen Scann mit der linken oder rechten Maustaste verschiebt oder dreht. Danach weist man Objektpunkte des ersten Scanns dem zweiten zu (je mehr desto besser). Anhand derer die Software beide Scanns verbindet.

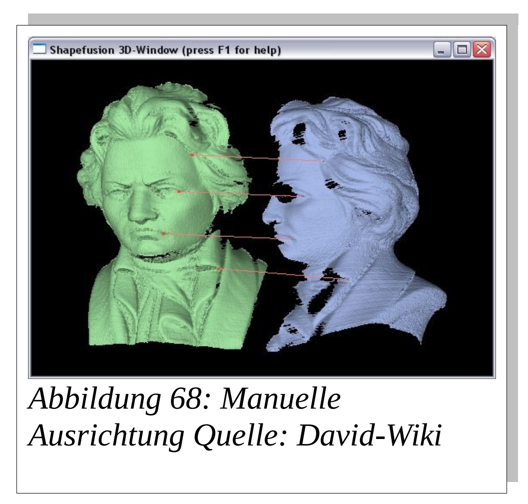


Abbildung 68: Manuelle Ausrichtung Quelle: David-Wiki

- Nur Feinregistrierung
  Die zwei Scanns werden jeweils an ihren aneinander grenzenden „Kanten verbunden“.

- Globale Feinregistrierung
  Dieser Registrierungsmodus richtet alle Scanns in der Liste an dessen jeweiligen Nachbarn aus.

Die folgenden Zeilen beschreiben den Modus Rotation um Y-Achse. Anhand eines Beispieles von dem David-Wiki. Da in der Freeware Version eine Speicherung von fusionierten Scanns nicht möglich ist.

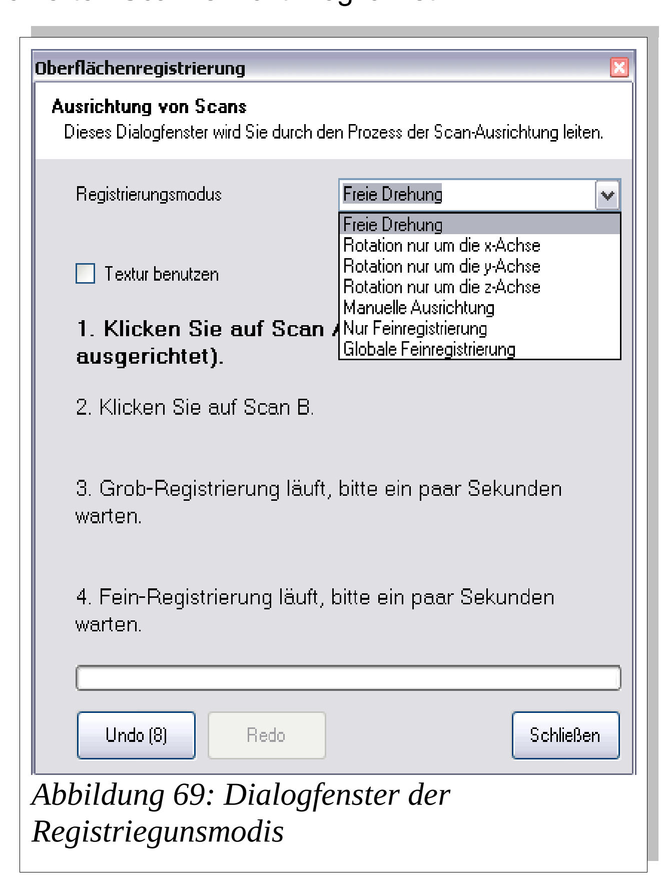


Abbildung 69: Dialogfenster der Registriegunsmodis

Für das Tutorial des Wikis wurde eine Beethoven-Büste digitalisiert und jeweils in den Positionen 90°, 180° und 270° erfasst.



Abbildung 70: Behthoven-Büste Quelle: Wikiseite des David-Laserscanner

Der Dialog „Rotation um Y-Achse“ möchte das man den ersten Scann (A, Bild 71) wählt und dann den zweiten Scann (B, Bild 72). Nach dem die Auswahl getroffen wurde richtet die Software den Scann A an B aus.



Abbildung 71: Scann A



Abbildung 72: Scann B

Im nächsten Schritt findet eine grobe Registrierung der beiden Scanns statt. Sollte die Registrierung keine gute Ausrichtung gefunden haben, so führt man nach einem Undo die Grobregistrierung erneut aus. Da die Methode zufallsbasiert arbeitet, ist es sehr wahrscheinlich, dass das Ergebnis nach einem zweiten oder dritten Versuch besser ist. Alternativ verwendet den Modus “Manuelle Ausrichtung”. Nach der Grobregistrierung ist das Ergebnis im 3D-Fenster sofort dargestellt.



Abbildung 73: Ergebnis der Grob Registrierung Quelle: David-Wiki

Je besser die einzelnen Scann zusammenpassen desto mehr Oberflächendurchdringungen gibt es, wie man dem folgenden Bild 74 entnehmen kann.

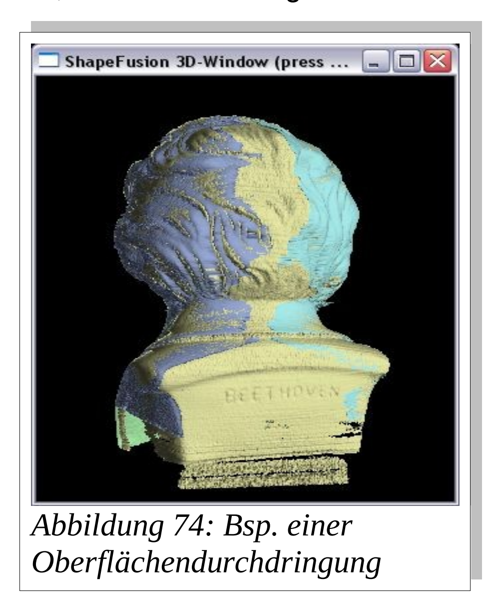


Abbildung 74: Bsp. einer Oberflächendurchdringung

Nach erfolgreichen Fusionsschritten kann man zwei oder mehr Scanns zu Einem gruppieren. Man selektieren diese Scanns in der Scann-Liste und klickt dann auf “Kombinieren”. Dadurch lässt sich dieser als einen einzelnen Scann behandeln. Gruppierungen können über das rechte Maustastenmenü, auf den Namen in der Scann-Liste aufgehoben werden.

Im nächsten Schritt werden über den Button „Verschmelzen“ alle „Einzelteile“ miteinander fusioniert. Das Ergebnis der Fusion hängt von den Parameter „Auflösung“, „Glättung“ und „Beseitigung“ ab. Laut der David-Wikiseite soll man mit einer geringen Auflösung (100) beginnen, bei geringer Auflösung ist der Fusionsprozess wesentlich robuster gegenüber ungenauen Ausrichtungen, Rauschen und Ausreißern. Eine höhere Auflösung erzeugt mehr Dreiecke für das

Objekt, falls das Ergebnis fehlende Flächen hat. Diesen kann man mit einem höheren Wert des Parameters „Glattheit“ entgegenwirken.

Mit dem Button “Speichern…” öffnet sich ein neues Dialogfenster, indem man zwischen den Dateiformaten *.OBJ, *.PLY und *.STL wählen kann. Ebenso ist eine Unterscheidung zwischen Fusionsergebnis oder den ausgerichteten und bearbeiteten 3D-Scanns möglich. Gescannte Objekte in der Freeware Version müssen in anderen Softwareanwendungen (Lightwave, Blender) bearbeitet werden. Da die einzelnen Scanns nicht fusioniert werden können, müssen diese auch einzeln bearbeitet werden.

2.4 Fazit über DAVID Laserscanner

Meine persönliche Beurteilung der vorgenannten Systeme ist: Der David-Laserscanner liefert in Preis-Leistungsverhältnis zum Roland 3DScanner ein optimales Ergebnis. Trotz geringem Kostenaufwand liefert das DAVID-System eine exzellente und effiziente Qualität, die den anderen Systemen in nichts nachsteht.

2.5 Technische Daten und Informationen zur Pro Version

Folgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der David Versionen und dessen Leistungsmerkmalen.

	Free Edition	Professional Edition	Professional USB Edition
High-Res Scanning	trail	Yes	Yes
Low-Res Saving (to .OBJ	Yes	Yes	Yes
High-Res Saving (to .OBJ)	No	Yes	Yes
Shapefusion	Trail	Yes	Yes
Full Texture Support	Yes	Yes	Yes
Shapefusion Saving(to .OBJ, .STL, .PLY)	No	Yes	Yes
Use restricted to one PC	No	yes	No
Restricted to USB Flash Drive	No	No	Yes
License Price	Free	159,00€	179,00€

2.6 Verwendete Hard- und Software für diese Ausarbeitung

Roland Laserscanner

Das an der HS Fulda zur Verfügung stehende System und dessen Software

- Dr. Picza3.0
- Pixform
- Openoffice
- LightWave
- Adobe Premiere
- Polytrans

David Laserscanner

Laser: Klasse 1 Modell DMV-MM-02 Fabr. Dario

Kamera: Logitech Webcam „QuickCam Communicate STX“ Auflösung 640x48

Software: David Laserscanner Version 2.2.1 (Freeware)

2.7 Literaturverzeichnis

[Lit_1]	Leitfaden zur Optischen 3-D-Messtechnik, Frauenhofer Institut
[Lit_2]	Model-based Analysis and Evulation of Point Sets from Optical 3D Laser Scanners, Shaker Verlag 2007
[Lit_3]	Leitfaden zur Grundlagen und Anwendungen der optischen 3-D-Messtechnik. Frauenhofer Institut
[Lit_4]	LPX 250 User's Manual http://www.rolanddga.com/rnet30/files/support/lpx250_users.pdf
[Lit_5]	Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach, Springer Berlin Heidelberg 2006
[Lit_6]	3D-Laserscanner Fachbereich AI Jeronimo Werder

Weblinks

W-link_1	http://www.david-laserscanner.com/ Abrufdatum 14.12.08
W-link_2	http://www.david-laserscanner.com/wiki Abrufdatum 14.12.08
W-link_3	http://www.david-laserscanner.com/?section=Buy ,Abrufdatum 28.12.08
W-link_4	http://www.rolanddga.com/ Abrufdatum 28.11.08
W-link_5	http://www.rolanddga.com/color/support/wizard/default.asp?ft=12&mt=159&pt=&modelmenu= Abrufdatum 28.12.08

3 Gemeinsamer Teil:

In diesem Kapitel werden die beiden Scannverfahren, dabei handelt es sich um den Optischen- und den Laserscanner, vergleichend betrachtet und dessen Vor- und Nachteile gegenübergestellt. Des Weiteren wird eine Lightwave-Szene beschreiben, die die digitalisierten 3D Objekte enthält und präsentiert.
Abschließend wird ein Gemeinsames Fazit über die Erfahrungen mit den 3D Scannsystemen gezogen.

3.1 Optischer Scanner vs. Laserscanner

Im folgenden werden die beiden Scannverfahren gegenübergestellt und die Vor- bzw. Nachteile der beiden Verfahren verifiziert. Bei dieser Gegenüberstellung wurden nur die an der HS-Fulda zur Verfügung stehenden 3D Scannsysteme betrachtet.

Kriterien	Optischer Scanner	Laserscanner
Dauer des Erfassungs- prozess des Objektes	Erfolgt relativ Schnell, abhängig von der Anzahl der Bilder für die Objekterfassung	Der zeitlicher Aufwand für die Erfassung eines Objektes ist abhängig von der gewählten Auflösung (Voxel-Punkt). Je feiner die Auflösung, desto höher ist der Zeitaufwand.
Formerfassung	Die Form des Objektes wird meist realistisch erfasst.	Die Erfassung der Form ist im Vergleich zum optischen Verfahren Detailgetreuer.
Erfassen von Konvex-Konkaven Formen	Konvexe Formen werden in der Regel gut erfasst, konkave Formen werden fehlerhaft identifiziert, wobei Durchbrüche im Objekt erkannt werden.	Sowohl Konkave als auch Konvexe Formen werden gut erkannt, selbiges gilt für die Identifizierung von Durchbrüchen.
Oberflächenbeschaffenheit der Objekte	Stark reflektierende Objekte mindern die Fotos der Objekterfassung und daraus ergibt sich eine Verfälschung des Objektes. (helle Flecken) Objekte mit identischen Farbanteilen zum Hintergrund sind nur	Ebenso wie bei dem optischen Verfahren lassen sich Objekte mit stark reflektierender Oberfläche schlecht bis gar nicht erfassen, da der Laserstrahl sehr stark gebrochen und/oder gestreut wird, da durch wird die Objektform

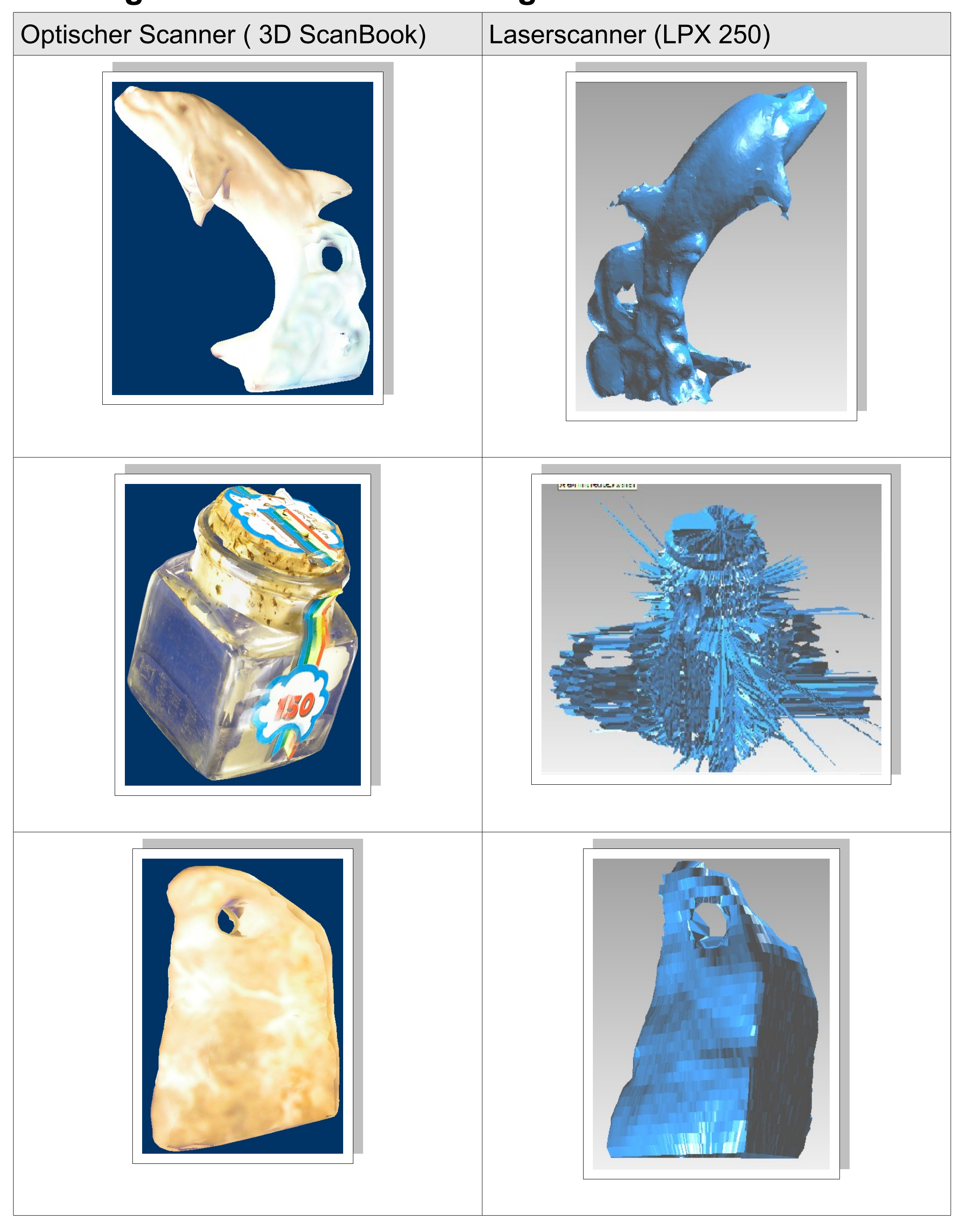
	bedingt zu erfassen. Bei Glasgegenständen kommt der Hintergrund zum Vorschein, jedoch wird die Form des Objektes erfolgreich erfasst.	fehlerhaft interpretiert. Dunkle Objekte (schwarz) werden ebenfalls schlecht erfasst, da nicht genügend Licht zum Detektor reflektiert wird.
Größenverhältnis und Detailtreue	Durch seine Konstruktion sind nur Objekte kleiner als 250 mm Höhe und 200 mm Breite erfassbar. Die detailgetreue Erfassung ist abhängig vom Objektiv der Kamera und dessen Fokussierung auch schärfe als auch der Kameraauflösung selbst. Des Weiteren muss die Software in der Lage sein die eingehenden Daten aus den Bildinformationen zu verarbeiten.	Durch seine Konstruktion sind nur Objekte kleiner als 406,4 mm Höhe und 254 mm Breite erfassbar. Die Erfassung des Detailgrades ist abhängig von der gewählten Auflösung, also der Abstand zwischen den Scannebenen und der Umfangsunterteilung. Kleine Objekte, deren Detailgrad (Kanten-brüche) sehr hoch ist, lassen sich schlecht erfassen, da die minimalste Drehteller Drehung von 0,2°ein zu großer Sprung ist für Objekte kleiner 20 mm.
Texturefassung der Objekte	Auf Grund der photographischen Erfassung des Objektes ist es nicht nur möglich die Form des Objektes an Hand des Objektumrisses zu er fassen, sondern auch gleichzeitig Texturinformationen von dem Objekt zu abstrahieren. Dabei können Texturen automatisch auf das Modell richtig positioniert werden.	Eine Texturerfassung ist mit dem Laserscanner nicht möglich.
Vereinigung mehrere Scannvorgänge eines Objekts	Beim Fotoscanner können genau 2 Scanns eines Objektes zusammengefügt werden, um den Detailgrad (wegen Verdeckten Flächen) zu erhöhen. Das	Eine Vereinigung von beliebig vielen Scanns kann durchgeführt werden, wobei es jedoch keine automatisierte Zusammenfügemechanis men existieren.

	Vereinigen der Scanns kann in der Regel automatisiert durchgeführt werden. Jedoch können nicht mehr als 2 Scanns kombiniert werden. Vereinigungsprozess dauert sehr lange (mehrere Stunden)	
Datenvolumen beim dem Erfassungsprozess	Hierbei werden alle Fotos der Objekterfassung sowie alle weiteren zu Verarbeitenden Schritte als Bilddatei abgelegt. Dementsprechend wird bei einer hohen Kameraauflösung und hoher Bildanzahl für einen Scann ein sehr hohes Datenvolumen erzeugt (einige 100 MB). Vorteil jedoch ist, das alle Bilddateien auch durch externe Bildver-arbeitungstools editiert werden können und somit das Modell beeinflussen. Export in andere Formate, wie z.B. 3DS oder SPX, minimiert das Datenvolumen auf einige wenige MB mit Texturen.	Hierbei wird nur eine Datei erzeugt, die die Objektinformation (Objektpunktinformation und die daraus resultierende Objektform) speichert. Die Datei Größe beträgt nur einige MB. Zu beachten ist, das in dieser Datei keine Texturinformationen enthalten sind.
Export Möglichkeiten in an der Formate	SPX-Modell (.SPX), 3D-Studio (.3ds) HTML (.html)	AutoCAD (.dxf), Stereo Litho (Rapid Prototyping, .stl), IGES (.igs), Web Publish INUS Compression Format (.icf), VRML 1.0/97 (.wrl) StereoLitho (.stl) Lightwaveformat (.lwo oder .lws)
Einsatzgebieter der Systeme	Präsentationszwecke z.B. auch Einsatz auf Webseiten (Artikelbeschreibung e-bay, 3D Darstellung von	Integration in CAD-System z.B. in der Autoindustrie oder Medizin, Konstruktions-

	Verkaufsartikeln in einem Webshop) Integration in Filmszenen, Erzeugen von 360° Ansichten eines Objekts. Schwerpunkt auf Objekten mit realer Textur.	und Produktionsbereiche. Ermitteln geometrischen Daten

3.2 Ergebnisse im Direkten Vergleich

Optischer Scanner (3D ScanBook)	Laserscanner (LPX 250)



3.3 Vorstellen der Lightwave-Szene

In der von uns erstellten Lightwave-Szene, die auf dem Tutorial „Ein altes Haus“[6] basiert wurde ein Raum erzeugt. In diesem Raum wurden drei selbst erstellte Tische platziert, auf denen die digitalisierten und bearbeiteten Objekte positioniert wurden. An den Wänden wurden selbst erstellte Bilder aufgehängt, die Fotos einiger Objekte zeigen. Außerhalb des Raumes wurde eine Wand mit Strandhintergrundtextur platziert. Die auf den Tischen platzierten Namensschilder sind ebenfalls selbst erstellt worden.
Eine Kamerafahrt durch den Raum zeigt alle Objekte in einer näheren Betrachtung.
Die von uns verwendeten Texturen sind selbst erzeugt, in dem wir mit einer Digitalkamera (N95) reale Objekte abfotografiert haben. Diese wurden dann in der erstellten Szene verwendet. Bei dem Engel 3D-Objekt, der hinter dem David-Laser Scanner Schild steht, handelt es sich um eine Demo-Datei die über die Download-Seite der David Webseite zur Verfügung steht.

3.4 Gemeinsames Fazit über 3D Scanner

Beide 3D-Scannsysteme sind für den produktiven Einsatz geeignet. Als ein entscheidendes Kriterium zur Auswahl eines Systems muss man sich über den Einsatzzweck im klaren sein. Das bedeutet, legt man Wert auf eine detailgetreues 3D-Objekt in Bezug auf die Form für Konstruktionszwecke, so spricht dies für den Laserscanner. Legt man jedoch den Fokus auf das allgemeine Aussehen des Objektes mit Texturierung für Präsentationszwecke, so spricht dies für den optischen Fotoscanner. Jedoch ist der Fotoscanner bei Objekten aus Glas und reflektierenden Oberflächen für eine Formerfassung besser geeignet. Viele Verarbeitungsschritte zur Erzeugung eines 3D-Modells sind bereits automatisiert.
Für einen mobilen Einsatz eignet sich das optische System besser als das Laserscannsystem, in Bezug auf die an der HS-Fulda vorhandenen Systeme, da das optische System aus mehreren kleineren Einzelkomponenten besteht. Eine Optimierung der Hardwarekomponenten ist durch diese „Individualisierung“ relativ einfach möglich (z.B. bessere kompatible Kamera).

Der David-Laserscanner eignet sich für den kostengünstigen Einstieg, mit Investitionskosten schon ab 30 €, in das Thema 3D Scanning. Um bessere Resultate erzielen zu können sind auch hier einzelne Komponenten durch leistungsfähigere Komponenten ersetzen.

6 http://www2.fh-fulda.de/caelabor/inhalte/Lightwave/einfuer/oldhouse/altes_haus_neu.htm